

EUR 2632.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

ZUM ZERFALL DES ^{241}Am
DIE INTENSITÄT DER KONVERSIONSELEKTRONEN DES
26,4 keV- UND DES 33,2 keV-ÜBERGANGS IM ^{237}Np

von

W. BAMBYNEK

1965



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Geel - Belgien

Zentralbüro für Kernmessungen - ZBKM

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 4,—	FF 5,—	FB 50,—	Lit. 620	Fl. 3,60
-----------------------	--------	---------	----------	----------

verkauft.

Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.

Gedruckt von Euratom
Brüssel, Dezember 1965

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 2632.d

ON THE DECAY OF ^{241}Am — INTENSITY OF CONVERSION ELECTRONS IN 26.4 keV AND 33.2 keV PASSAGES IN ^{237}Np by W. BAMBYNEK

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center - Geel Establishment
Central Bureau for Nuclear Measurements - CBNM
Brussels, December 1965 - 36 pages - 3 figures - FB 50

The intensity of the conversion electrons of the 26.4 keV and the 33.2 keV transition in ^{237}Np .

Data on the decay of ^{241}Am published in literature are reviewed. It is shown that the absolute intensities of the conversion electrons of the 26.4 keV and the 33.2 keV transitions, which have been calculated from measured β -spectrometer data, are too small by nearly a factor of 2. On the other hand the intensities $e(26) = (23.9 \pm 6.7) \%$ and $e(33) = (26.4 \pm 6.6) \%$, which have been calculated essentially from α - and γ -intensities, could be confirmed by our measurements. The conversion coefficient $\alpha(26) = 9.5 \pm 3.4$ deduced from these figures is about 3 times larger than that calculated by SLIV and BAND or by ROSE.

EUR 2632.d

ON THE DECAY OF ^{241}Am — INTENSITY OF CONVERSION ELECTRONS IN 26.4 keV AND 33.2 keV PASSAGES IN ^{237}Np by W. BAMBYNEK

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center - Geel Establishment
Central Bureau for Nuclear Measurements - CBNM
Brussels, December 1965 - 36 pages - 3 figures - FB 50

The intensity of the conversion electrons of the 26.4 keV and the 33.2 keV transition in ^{237}Np .

Data on the decay of ^{241}Am published in literature are reviewed. It is shown that the absolute intensities of the conversion electrons of the 26.4 keV and the 33.2 keV transitions, which have been calculated from measured β -spectrometer data, are too small by nearly a factor of 2. On the other hand the intensities $e(26) = (23.9 \pm 6.7) \%$ and $e(33) = (26.4 \pm 6.6) \%$, which have been calculated essentially from α - and γ -intensities, could be confirmed by our measurements. The conversion coefficient $\alpha(26) = 9.5 \pm 3.4$ deduced from these figures is about 3 times larger than that calculated by SLIV and BAND or by ROSE.



EUR 2632.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

ZUM ZERFALL DES ^{241}Am
DIE INTENSITÄT DER KONVERSIONSELEKTRONEN DES
26,4 keV- UND DES 33,2 keV-ÜBERGANGS IM ^{237}Np

von

W. BAMBYNEK

1965



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Geel - Belgien

Zentralbüro für Kernmessungen - ZBKM

ZUSAMMENFASSUNG

Die aus der Literatur bekannten Daten zum ^{241}Am Zerfall werden zusammengestellt.

Es wird gezeigt, daß die aus den β -Spektrometermessungen berechneten absoluten Intensitäten der Konversionselektronen des 26,4 keV- und des 33,2 keV-Überganges im ^{237}Np jeweils um etwa einen Faktor 2 zu klein sind. Die im wesentlichen aus α - und γ -Intensitäten berechneten Werte $c(26) = (23,9 \pm 6,7) \%$ und $c(33) = (26,4 \pm 6,6) \%$ konnten dagegen durch unsere Messungen bestätigt werden. Für den 26,4 keV-Übergang ergibt sich daraus ein Konversionskoeffizient von $\alpha(26) = 9,5 \pm 3,4$, der etwa dreimal höher als der nach SLIV und BAND bzw. ROSE berechnete ist.

1. Einleitung

Die genaue Kenntnis des Zerfallsschemas des ^{241}Am ist sowohl in der Kerntheorie (Rotationsstruktur) als auch in der Kernpraxis (Standardquellen) von grosser Bedeutung. Die aus dem α -Zerfall des ^{241}Am resultierenden angeregten Zustände des ^{237}Np werden auch beim β -Zerfall des ^{237}U , beim Elektroneneinfang des ^{237}Pu und bei der Coulomb-Anregung des ^{237}Np erreicht. Dieses Zerfallsschema ist daher recht gut bekannt. Nur bei den Intensitäten der Konversionselektronen des 26,4 keV- und des 33,2 keV-Überganges ergeben sich Widersprüche. Die gemessenen Intensitäten dieser Linien sind mit anderen bekannten Grössen des Zerfalls nicht vereinbar. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Unterschiede aufzuzeigen und experimentell zu prüfen. Dazu werden zuerst die hierbei interessierenden aus der Literatur bekannten Angaben zusammengestellt. (Alle Prozentangaben bei den Intensitäten sind auf die α -Zerfallsrate des ^{241}Am bezogen).

2. Zusammenstellung bekannter Daten des ^{241}Am Zerfalls

2.1. Alpha-Strahlen

Werte für die Energie (1-10) und die Intensitäten (1-4), (6-8), (10-12) der α -Strahlen sind von vielen Autoren angegeben worden. Eine Zusammenstellung der gemessenen Intensitäten, die grösser als 0,1 % sind, gibt Tabelle 1 an. Die relativen Werte von ROSENBLUM et al. ⁴⁾ (Spalte 5 der Tabelle) wurden über den Mittelwert der Linie 5486 keV in absolute Intensitäten umgerechnet.

2.2. Gamma-Strahlen

Die Energie (4), (8), (10-25), und die Intensitäten (8), (10-16) der γ -Strahlen sind ebenfalls von vielen Autoren bestimmt worden. Gemessene γ -Intensitäten, die Manuskript erhalten am 16. November 1965.

grösser als 0,1 % sind, sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Absolute Intensitäten werden nur von BELING et al. ¹³⁾, MAGNUSSON ¹²⁾ und MICHAELIS ¹⁰⁾ angegeben. Aus den Werten dieser Autoren haben wir einen gewichteten Mittelwert der 59,57 keV-Linie gebildet, der etwas grösser als der Wert von MAGNUSSON ist, aber innerhalb der angegebenen Fehlerbreite seines Wertes liegt. Mit diesem Mittelwert wurden die relativen Intensitäten der anderen Autoren in absolute Intensitäten umgerechnet.

2.3. Konversionselektronen

Die Intensitäten der Konversionselektronen wurden von BARANOV et al. ²⁴⁾, SAMOILOV ²²⁾ und WOLFSON et al. ²³⁾ untersucht. In Tabelle 3 sind ihre Ergebnisse zusammengestellt. Die einzelnen Linienintensitäten sind relativ zur L_2 -Linie des 59,57 keV-Überganges angegeben. Die letzte Spalte der Tabelle enthält gewichtete Mittelwerte für jede Linie.

In Tabelle 4 sind die Konversionsverhältnisse L_1/L_3 und L_2/L_3 des 59,57 keV-Überganges zusammengestellt. Tabelle 5 enthält die in der Literatur angegebenen experimentell bestimmten und Tabelle 6 die nach SLIV und BAND ²⁶⁾ bzw. nach ROSE ²⁷⁾ berechneten Konversionskoeffizienten.

3. Berechnung der absoluten Intensitäten der Konversionselektronen

Zur vollständigen Beschreibung des Zerfallsschemas fehlt noch die Angabe der absoluten Intensitäten der Konversionselektronen. Sie werden im folgenden aus experimentell ermittelten relativen Intensitäten und einem Absolutwert berechnet. Andererseits gilt für die Intensitäten aller beim ^{241}Am -Zerfall beteiligten Strahlungen ein Gleichungssystem, aus dem die absoluten Intensitäten der Konversionselektronen

weitgehend unabhängig von ihrer direkten Messung berechnet werden können.

3.1. Berechnung aus den experimentell bestimmten relativen Intensitäten der Konversionselektronen unter Verwendung des experimentell ermittelten Konversionskoeffizienten $\alpha_L(59)$ des 59,57 keV-Überganges

Für die Konversionsverhältnisse der L-Schale gilt

$$\frac{\alpha_{L_1}}{\alpha_{L_3}} + \frac{\alpha_{L_2}}{\alpha_{L_3}} + 1 = \frac{\alpha_L}{\alpha_{L_3}} \quad (1)$$

Mit den aus Tabelle 4 berechneten Mittelwerten für die Konversionsverhältnisse und dem bekannten Wert für den L-Konversionskoeffizienten des 59,57 keV-Überganges $\alpha_L(59)$ lassen sich aus (1) absolute Werte für den Konversionskoeffizienten der L-Unterschalen dieses Überganges berechnen. Aus dem absoluten Wert für den Konversionskoeffizienten $\alpha_{L_2}(59)$ und der gemittelten absoluten γ -Intensität $\gamma(59)$ des 59,57 keV-Überganges erhält man die absolute Intensität der L_2 -Konversionselektronen dieses Überganges. Damit lassen sich dann alle auf die L_2 -Unterschale des 59,57 keV-Überganges bezogenen relativen Intensitäten der Tabelle 3 in absolute Intensitäten umrechnen.

Absolute experimentelle Werte für $\alpha_L(59)$ geben an :

TURNER ¹⁸⁾ : $\alpha_L(59) = 0,26 \pm 0,03,$

$$\alpha(59) = 0,36 \pm 0,04$$

JAFFE et al. ¹⁵⁾ : $\alpha_L(59) = 0,72 \pm 0,07$

$$\alpha(59) = 0,92 \pm 0,1.$$

Der Wert von TURNER scheint zu klein zu sein, der von JAFFE et al. basiert auf dem Wert für die γ -Intensität

des 59,57 keV-Überganges $\gamma(59) = 40\%$ von BELING et al. ¹³⁾. Mit dem aus Tabelle 2 ermittelten absoluten Wert für $\gamma(59) = 36,4\%$ erhält man aus den Daten von JAFFE et al. $\alpha_L(59) = 0,79 \pm 0,08$ und $\alpha(59) = 1,0 \pm 0,1$. Diese Werte stimmen mit den von ASARO et al. ²⁸⁾ ermittelten Werten $\alpha_L(59) = 0,80 \pm 0,08$ und $\alpha(59) = 1,0 \pm 0,1$ gut überein. Mit diesem $\alpha_L(59)$ ergeben sich die Konversionskoeffizienten der L-Unterschalen des 59,57 keV-Überganges zu

$$\alpha_{L_1}(59) = 0,23 \pm 0,02, \quad \alpha_{L_2}(59) = 0,44 \pm 0,05$$

$$\alpha_{L_3}(59) = 0,12 \pm 0,03.$$

Damit folgt für die absolute Intensität der Bezugslinie der Tabelle 3

$$e_{L_2}(59) = \alpha_{L_2}(59) \cdot \gamma(59) = (16,0 \pm 1,9)\%$$

In Tabelle 7 sind die mit diesem Wert ermittelten Intensitäten der Konversionselektronen, ferner die Intensitäten der γ -Strahlen und die Gesamtintensitäten $N = e + \gamma$ der einzelnen Übergänge zusammengestellt. Die Übergänge mit den Energien 64,8; 67,51; 70,1; 75,94; 102,9; 123,0; 150 und grösser als 166,5 keV treten mit Intensitäten kleiner als 0,1% auf und tragen zur Besetzung der angeregten Zustände nur unwesentlich bei. Sie sind deshalb in Tabelle 7 nicht mit aufgeführt. Ein Übergang mit 27,03 keV wurde nur von SAMOILOV ²²⁾ gefunden und von WOLFSON et al. ²³⁾ trotz genauer Untersuchung nicht bestätigt. Er ist deshalb in Tabelle 7 ebenfalls weggelassen worden.

3.2. Berechnung aus den Gleichungen des Zerfallsschemas unter Verwendung experimentell ermittelter α - und γ -Intensitäten

Mit den Werten der Tabellen 1, 2 und 7 lässt sich das vereinfachte Zerfallsschema der Abbildung 1

aufstellen, in dem alle Intensitäten, die kleiner als 0,1 % sind, weggelassen wurden. Für die Gesamtintensitäten $N(E)$ der Übergänge (der Energie E) und für die Intensitäten $a(E)$ der α -Strahlen zu den angeregten Zuständen (der Energie E) des ^{237}Np -Kernes gilt folgendes Gleichungssystem

$$\begin{aligned} N(55)+N(98)+N(126)+N(158) &= a(158) \\ N(43) &= a(102)+N(55) \\ N(59) +N(26) &= a(59)+N(43)+N(98) \\ N(33) &= a(33)+N(26) . \end{aligned} \quad (2)$$

Mit den recht gut bekannten Werten $a(E)$ (der Tabelle 1) und den Werten $N(98)$, $N(126)$ und $N(158)$ (der Tabelle 7), die kleiner als 1 % sind und nur kleine Fehler verursachen können, ergibt sich aus dem Gleichungssystem (2) :

$$\begin{aligned} N(55) &= a(158) - (N(126) + N(158)) = (0,92_{-0,26}^{+0,24})\% \\ N(43) &= a(102) + a(158) - (N(98) + N(126) + N(158)) = (13,8_{-0,6}^{+0,9})\% \\ N(26) + N(59) &= a(59) + a(102) + a(158) - (N(126) + N(158)) = \\ &= (9,2_{-1,3}^{+1,9})\% \quad (2a) \\ N(33) + N(59) &= a(33) + a(59) + a(102) + a(158) - (N(126) + N(158)) = \\ &= (99,4_{-1,4}^{+1,9})\% \end{aligned}$$

Zur Auflösung der letzten beiden Gleichungen kann man die schon oben verwendeten Werte für $\alpha(59) = 1,0 \pm 0,1$ und $\gamma(59) = (36,4 \pm 0,9)\%$ benutzen. Damit ergibt sich für

$$N(59) = (72,8_{\pm 4,6})\%, \quad N(33) = (26,5_{-6,0}^{+6,5})\%, \quad N(26) = (26,4_{-6,0}^{+6,5})\%.$$

Aus diesen Werten lassen sich die gesuchten absoluten Intensitäten der Konversionselektronen $e(26)$ und $e(33)$ bestimmen. Benutzt man zur Berechnung von $e(26)$ den Wert $\gamma(26) = (2,5 \pm 0,2)\%$ nach MAGNUSSON¹²⁾, so erhält man $e(26) = (23,9_{-6,2}^{+6,7})\%$. Der daraus folgende

Wert des Konversionskoeffizienten $\alpha(26) = 9,5 \pm 3,4$ stimmt mit dem von ASARO et al.²⁸⁾ angegebenen Wert von $\alpha(26) = 10 \pm 2$ gut überein.

Aus Tabelle 6 folgt, dass der 33,21 keV Übergang hoch konvertiert ist ($\alpha(33) > 200$), wenn man mit WOLFSON et al.²³⁾ eine Mischung von 97,5 % M1 + 2,5 % E2 annimmt. γ -Strahlen kleiner Intensität wurden für diesen Übergang von DAY¹⁴⁾, MAGNUSSON¹²⁾ und NEWTON¹⁶⁾ beobachtet. Mit dem gemittelten Wert

$$\gamma(33) = (0,12 \pm 0,06) \pm 0,01 \% \text{ erhält man}$$

$e(33) = (26,4 \pm 6,6) \pm 6,1 \%$. Auch der 43,44 keV Übergang ist hoch konvertiert ($\alpha(43) \approx 200$). MAGNUSSON¹²⁾ und DAY¹⁴⁾ beobachten γ -Linien, deren gemittelte Intensität $\gamma(43) = (0,08 \pm 0,14) \pm 0,01 \%$ ist.

Eine Zusammenstellung aller berechneten Intensitätswerte gibt Tabelle 8. Die Fehlerangaben sind aus den maximalen Abweichungen aller bekannten experimentellen Daten verschiedener Autoren abgeleitet worden. Da nicht alle Autoren die Genauigkeit ihrer Messungen angeben, andererseits ihre Resultate nicht unberücksichtigt bleiben sollten, geben die Fehlerbreiten nur eine ungefähre Abschätzung der Ungenauigkeiten an. Die Fehlerangaben der Tabelle 8 dürften im allgemeinen 2 bis 3 Mal grösser als die wirkliche Ungenauigkeit der ermittelten Intensitätswerte sein, während die der Tabelle 7 weitgehend zufällig sind.

Vergleicht man die auf beiden Wegen gewonnenen Werte (Tabelle 7 und Tabelle 8), so fällt auf, dass sich die Intensitäten der Konversionselektronen $e(26)$ und $e(33)$ für die beiden Berechnungswege jeweils um einen Faktor von etwa 2 unterscheiden. Diese Diskrepanz kann nur durch eine Nachmessung der Intensitäten der Konversionselektronen geklärt werden.

4. Messung der Intensitäten der Konversionselektronen nach ^{241}Am Zerfall

4.1. Methode

Eine direkte und genaue Messung der absoluten Intensitäten der einzelnen Konversionselektronenlinien in dem hier vorliegende Energieintervall ist sehr schwierig. Dagegen ist die Trennung und Messung der α -Strahlen und der Elektronen in einem Proportionalzählrohr einfach und mit der erforderlichen Genauigkeit möglich. Daher wurde eine darauf beruhende Methode und ein vorhandenes 4π -Proportionalzählrohr (Abbildung 2) zur Messung der Intensität der Konversionselektronen nach dem α -Zerfall des ^{241}Am verwendet.

Zur Vermeidung von Selbstabsorptionseffekten wurden sehr dünne ^{241}Am -Quellen, zum Teil durch elektrolytische Abscheidung, auf dünnen Folien hergestellt. Um die Einflüsse der Rückstreuung an diesen Folien auszuschliessen, wurden die Quellen stets mit Folien abgedeckt, deren Dicke gleich der der Unterlagefolien war (symmetrische Sandwich-Quellen). Durch Variation der Hochspannung zwischen ca. 2 und 4 kV (Abbildung 3) wurde die Abschneideenergie zwischen 0,1 keV und 1 MeV variiert. Dadurch konnten sowohl in einer als auch in beiden Hälften des Zählrohres entweder die α -Strahlen allein oder die α -Strahlen zusammen mit den Elektronen sowie auch Koinzidenzen zwischen α -Strahlen in der einen Hälfte und Elektronen in der anderen Hälfte des Zählrohres gemessen werden.

Die α -Zählrate $N(\alpha)$ in beiden Hälften bzw. $N(\alpha)/2$ in einer Hälfte des Zählrohres, ist durch die Beziehung $N(\alpha) = T_{\alpha} N$ unmittelbar mit der Zerfallsrate N der Quellen verknüpft. Die Transmission T_{α} der α -Strahlen durch die Folien lässt sich mit grosser Genauigkeit bestimmen ²⁹⁾. Die Beziehung zwischen den Elektronenzählraten und den gesuchten Intensitäten der Konversionselektronen ist dagegen durch Koinzidenzen mehrerer

Konversionselektronen miteinander, durch die mit den Konversionselektronen gleichzeitig auftretenden Auger-Elektronen, durch Folieneffekte (Absorption und Rückstreuung) und durch die Gasrückstreuung kompliziert. Bei den verwendeten symmetrisch abgedeckten Quellen sind die Messungen in den verschiedenen Zählerhälften sowie auch die Koinzidenzmessungen zwischen Elektronen in einer und α -Strahlen in der anderen Zählerhälfte physikalisch gleichwertig. Messungen in beiden Zählerhälften gestatten keine Trennung von α -Strahlen und Konversionselektronen und können deshalb zur Bestimmung der letzteren nicht benutzt werden.

Die gemessenen Elektronenzählraten sind in allen Fällen der Summe $\sum_i N_i E_i$ proportional, in der N_i die

Anzahl der Zerfälle mit i Elektronen und E_i die Nachweiswahrscheinlichkeit dieses Zerfalls (in einer Zählerhälfte) über die i Elektronen bedeuten. Für eine Messung der Elektronen in der oberen Zählerhälfte (Index "o") gilt z.B.

$$N_o(e+\alpha) - N_o(\alpha)/2 = N_o(e) = N(1-T_\alpha/2) \left(\sum_i N_i E_i \right) . \quad (3)$$

Entsprechende Beziehungen erhält man für die anderen Messmöglichkeiten. Allgemein gilt, wenn mit den Indizes "o" die obere, mit "u" die untere Zählerhälfte und mit "c" die Koinzidenzen zwischen den beiden Hälften bezeichnet werden,

$$\begin{aligned} \frac{N_o(e+\alpha) - N_o(\alpha)/2}{N(2-T_\alpha)} &= \frac{N_u(e+\alpha) - N_u(\alpha)/2}{N(2-T_\alpha)} = \frac{N_c(e,\alpha)}{NT_\alpha} \\ &= (1/2) \sum_i N_i E_i . \end{aligned} \quad (4)$$

Um entscheiden zu können, ob die in Tabelle 7 oder die in Tabelle 8 angegebenen Werte für die Intensitäten der Konversionselektronen richtig sind, müssen mit

ihnen die Summen $\sum_i N_i E_i$ der rechten Seite von Gleichung (4) berechnet und mit den experimentell gefundenen Ergebnissen (der linken Seite) verglichen werden. Der Einfluss von Röntgen- und γ -Strahlen kann bei allen Berechnungen und Vergleichen vernachlässigt werden, da die Nachweiswahrscheinlichkeit der Messanordnung für diese Strahlungen wesentlich kleiner als die der Elektronen ist.

4.2. Berechnung der Elektronenzählraten $\sum_i N_i E_i$

Sowohl bei der Berechnung der N_i (Intensitäten von α -Zerfällen, bei denen i Folgeelektronen auftreten) wie der E_i (Wahrscheinlichkeit für den Nachweis der i Folgeelektronen in einer Zählerhälfte) ist die Wahl des Energiebereiches von grosser Bedeutung. Die einfachsten Verhältnisse im Elektronenzähler sollten bei sehr niedriger Diskriminatorschwelle (ca. 1 keV) und bei Diskriminatoreinstellungen auftreten, bei denen gerade alle Auger-Elektronen abgeschnitten werden (ca. 23 keV).

4.2.1. Berechnung der Intensitäten N_i der α -Zerfälle, bei denen i Konversions- oder Auger-Elektronen auftreten

Die Intensität der Zerfälle mit i Konversionselektronen lässt sich aus den Daten der Tabellen 7 und 8 bei Berücksichtigung der Übergangswahrscheinlichkeiten leicht berechnen (Tabelle 9). Für die Anzahl der Zerfälle mit 2 Konversionselektronen gilt z.B.

$$\sum_{x,y} C_{xy} e(x)e(y),$$
 wobei die Summation über alle Wege

im Zerfallsschema, die 2 Konversionselektronen liefern können, zu erstrecken ist, C_{xy} die Koinzidenzwahrscheinlichkeit und $e(x)$ bzw. $e(y)$ die Häufigkeit der betrachteten Konversionselektronen bedeuten.

Bei der Berechnung der N_i muss aber ausserdem berücksichtigt werden, dass nach einem Konversionsprozess

ein Loch in der Atomhülle zurückbleibt, dessen Auffüllung Anlass zur Emission von Röntgen-Strahlen oder Auger-Elektronen gibt. Wenn Auger-Elektronen ausgesandt werden, müssen sie bei der Bestimmung der N_i mit berücksichtigt werden, was mit Hilfe der Fluoreszenzausbeuten mit ausreichender Näherung möglich ist. Die Fluoreszenz-, Auger- und Coster-Kronig-Ausbeuten wurden durch Extrapolation für $Z = 93$ aus Angaben bei LISTENGARTEN ³⁰⁾ gewonnen. In Tabelle 9 sind die berechneten N_i , sowohl für die Konversionselektronen allein als auch für die Konversionselektronen mit Berücksichtigung der Auger-Elektronen, zusammengestellt. Durch den Einfluss der Auger-Elektronen werden die Elektronenkoinzidenzen erheblich erhöht, dagegen wird die Gesamtintensität der Zerfälle mit Folgeelektronen nicht verändert. Die Anzahl der Zerfälle mit 3 und mehr Folgeelektronen nimmt z.B. auf Kosten der Zerfälle mit einem Elektron zu, während die mit 2 Folgeelektronen praktisch gleich bleibt.

4.2.2. Berechnung der Nachweiswahrscheinlichkeiten E_i

Die Nachweiswahrscheinlichkeit E_i eines Zerfalles mit i Folgeelektronen in einer Zählerhälfte ist bestimmt durch die geometrische Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron die betrachtete Zählerhälfte erreicht, durch die Transmission der Elektronen durch die die Quelle bedeckenden Folien und durch die Rückstreuung der Elektronen im Zählgas. Bei den verwendeten sehr dünnen Quellen kann die Selbstabsorption vernachlässigt werden. Die symmetrische Abdeckung der Quellen mit dünnen Folien hat zur Folge, dass sich der Einfluss der Folienrückstreuung aus Symmetriegründen heraushebt und dass die bei der α -Emission entstehenden Rückstosskerne und geringenergetischen Sekundärelektronen nicht in das Zählvolumen gelangen können.

Die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohres selbst für Elektronen und α -Strahlen kann bei der gewählten hohen Gasverstärkung zu 1 angenommen werden.

Von den noch zu bestimmenden Faktoren ergibt sich die geometrische Ansprechwahrscheinlichkeit zu $1/2$ für $i = 1$, zu $1/2 + 1/2 - 1/4 = 3/4$ für $i = 2$, zu $7/8$ für $i = 3$ und zu $15/16$ für $i = 4$. Für $i > 4$ kann 1 angenommen werden. Winkelkorrelationen zwischen den Elektronen und den α -Strahlen sind hierbei vernachlässigt worden.

Die Transmission T durch die dünnen VYNS-Folien (ca. $15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) wurde für die einzelnen Energien mittels der Beziehung.

$$T = 1 - d/R_{\text{max}} \quad (5)$$

abgeschätzt. Dabei bedeuten d die Dicke der Folien und R_{max} die maximale Reichweite der Elektronen ³¹⁾. Der durch Benutzung dieser einfachen Relation auftretende Fehler kann für Elektronen der Energie $E = 3 \text{ keV}$ bis maximal 10 % betragen, wird aber besonders für höhere Energien schnell kleiner (z.B. ca. 0,5 % für 10 keV). Für die wirkliche Korrektur muss noch berücksichtigt werden, dass sowohl Konversions- als auch Augerelektronen mit verschiedener Energie auftreten. Schreibt man $T(i, S_x)$ für die Transmission der Konversionselektronen der Energie $E(i, S_x)$ aus der Schale S_x beim Übergang i und entsprechend $T(S_x - S_y, S_z)$ für die der Augerelektronen der Energie $E(S_x - S_y, S_z)$, so ergibt sich für die mittlere Transmission der Konversionselektronen des Überganges i

$$T(e_i) = \sum_{S_x} n(i, S_x) T(i, S_x) \quad (6)$$

wobei $n(i, S_x) = e(i, S_x) / (\sum_{S_x} e(i, S_x))$ die relative

Intensität der Konversionselektronen $e(i, S_x)$ aus der Schale S_x ($S = K, L, M, \dots$) beim Übergang i bedeutet.

Entsprechend gilt für die Auger-Elektronen

$$T(A_x) = \sum_{S_y} \sum_{S_z} a(S_x - S_y S_z) T(S_x - S_y S_z) \quad , \quad (7)$$

wenn man mit $a(S_x - S_y S_z) = A(S_x - S_y S_z) / (\sum_{S_y} \sum_{S_z} A(S_x - S_y S_z))$

die relativen Intensitäten der Auger-Elektronen bei Konversion in der Schale S_x bezeichnet. Da die $a(S_x - S_y S_z)$ nur für gewisse Energiegruppen (L-LX, L-XY, ...) bekannt sind, kann man die Transmission nur an den Grenzen $T(S_x - S_y S_z)_{\min}$ und $T(S_x - S_y S_z)_{\max}$ bestimmen. Als Mittelwert wurde deshalb das arithmetische Mittel der minimalen und der maximalen Transmission der Gruppe

$$\bar{T}(S_x - S_y S_z) = (1/2)(T(S_x - S_y S_z)_{\min} + T(S_x - S_y S_z)_{\max}) \quad (8)$$

benutzt. Damit erhält man für die mittlere Transmission der Auger-Elektronen aus der Schale S_x

$$T(A_x) = \sum_{S_y} \sum_{S_z} \bar{a}(S_x - S_y S_z) \bar{T}(S_x - S_y S_z) \quad . \quad (9)$$

Berücksichtigt man nur die beiden bisher behandelten Effekte, so ergibt sich für die Ansprechwahrscheinlichkeiten $E_1^!$ mit der Transmission T_1, T_2, T_3, T_4 des ersten, zweiten usw. beteiligten Elektrons (Konversionselektronen gemäss (6) und Auger-Elektronen gemäss (9)),

$$\begin{aligned} E_1^! &= (1/2)T_1 \quad ; \\ E_2^! &= (1/2)(T_1 + T_2) - (1/4)T_1 T_2 \quad (10) \\ E_3^! &= (1/2)(T_1 + T_2 + T_3) - (1/4)(T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) + (1/8)T_1 T_2 T_3 \\ E_4^! &= (1/2)(T_1 + \dots + T_4) - (1/4)(T_1 T_2 + \dots + T_3 T_4) + \\ &\quad (1/8)(T_1 T_2 T_3 + \dots + T_2 T_3 T_4) - (1/16)T_1 T_2 T_3 T_4 \end{aligned}$$

Berücksichtigt man die Rückstreuung der Elektronen im Zählgas, so muss man zu den oben angegebenen $E_1^!$ noch die folgenden analog gebildeten Glieder E_1'' addieren :

$$\begin{aligned}
 E_1'' &= (1/2)\eta T_1^3 F_1, \\
 E_2'' &= (1/2)\eta (T_1^3 + T_2^3) F_1 - (3/4)\eta^2 T_1^3 T_2^3 F_2 \quad (11) \\
 E_3'' &= (1/2)\eta (T_1^3 + T_2^3 + T_3^3) F_1 - (3/4)\eta^2 (T_1^3 T_2^3 + T_1^3 T_3^3 + T_2^3 T_3^3) F_2 + \\
 &\quad (7/8)\eta^3 T_1^3 T_2^3 T_3^3 F_3 \quad \text{usw.}
 \end{aligned}$$

Hierbei sind die F_i abgeschätzte Korrekturfaktoren, die die Energieänderung bei der Gasrückstreuung berücksichtigen. Für den Rückstreckoeffizienten η im Zählgas CH_4 mit einem Druck von 1 at wurde der Wert $\eta = 0,04$ benutzt. Dieser Wert wurde aus Rückstremessungen mit ^{63}Ni gewonnen, dessen mittlere Elektronenenergie etwa der mittleren Energie der Konversionselektronen entspricht. Der Einfluss der Gasrückstreuung beträgt ungefähr 3 - 5 % der gesamten Ansprechwahrscheinlichkeit. Die Ergebnisse der Berechnungen von $(1/2)\sum_i N_i E_i$ sind in Tabelle 10 zusammengestellt, wobei $E_i = E_i' + E_i''$ bedeutet.

4.3. Experimentelles

4.4.1. Quellen

Zur Herstellung der Quellen diente eine trägerfreie ^{241}Am -Lösung (1N HNO_3) ANS 1 vom RCC Amersham in England. Die Quellen wurden auf dünnen goldbedampften VYNS-Folien hergestellt, die durch 0,1 mm dicke Al-Ringe (Durchmesser : innen 16 mm, aussen 34 mm) getragen und oben mit Folien gleicher Dicke abgedeckt waren. Entsprechend den gewählten Energiediskriminationen, die im wesentlichen durch die Folienabsorption bewirkt wurden, sind Quellen mit Folien der folgenden Flächengewichte hergestellt worden : $15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Tropfenquellen), $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Elektrolysequellen) ³²⁾ und $1430 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Tropfenquellen). Die Dicke der aufgedampften Goldschichten, die zur Erzielung einer hinreichenden Leitfähigkeit auf den VYNS-Folien notwendig war, betrug in der Regel etwa

$10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Die Quellen mit $1430 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Flächengewicht absorbieren alle Auger-Elektronen und die Konversions-elektronen $e(26)$ und $e(33)$. Die Intensitätsunterschiede dieser beiden Übergänge fallen deshalb bei der Berechnung der Summe in Gleichung (4) weg, so dass Messungen mit den dicken Quellen eine Kontrolle der verwendeten Messmethode gestatten.

4.3.2. Zählrohr

Das zur Messung verwendete 4π -Proportionalzählrohr (Abbildung 2) hat eine effektive Länge von 150 mm und einen Durchmesser von 80 mm. Als Kathodenmaterial dienten Aluminium oder Messing. Die Drähte aus Mo hatten einen Durchmesser von 0,03 mm. Das Zählgas bestand aus Methan (99,95 %) mit einem Druck von 1 at. Vorversuche mit einem Druck von 2 at ergaben innerhalb der Messgenauigkeit die gleichen Ergebnisse.

Die Impulse aus den beiden Zählrohrhälften liessen sich getrennt oder parallel geschaltet zählen. Ferner konnten Koinzidenzen zwischen den Impulsen der beiden Hälften gemessen werden. Die Diskriminatorschwelle war stets so eingestellt, dass die Abschneideenergie im wesentlichen durch die Dicke der die Quellen bedeckenden Folien bestimmt war. Typische Plateaus sind in Abbildung 3 dargestellt.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Ergebnisse

Es wurden die Zählraten der α -Strahlen und der Elektronen von 14 Quellen sowohl in der oberen wie auch in der unteren Zählerhälfte und ferner die Koinzidenzen zwischen den α -Strahlen in der einen und den Elektronen in der anderen Hälfte gemessen. Die Übereinstimmung dieser physikalisch äquivalenten Messungen war besser als 5 %. Die Zerfallsrate konnte auf $\pm 0,5 \%$ genau bestimmt werden. Sie wurde mit einem α -Zähler kleiner geometrischer Ansprechwahrscheinlichkeit ³³⁾ kontrolliert.

Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Es ist zu bemerken, dass die Werte, die aus den Gleichungen des Zerfallsschemas und unter Verwendung experimentell ermittelter α - und γ -Intensitäten berechnet wurden (Tabelle 8), recht gut mit den Ergebnissen unserer Messungen übereinstimmen. Dagegen liegen die Werte, die aus den experimentell bestimmten relativen Intensitäten der Konversionselektronen unter Verwendung des Konversionskoeffizienten α_L (59) berechnet wurden (Tabelle 7), beträchtlich tiefer und ausserhalb der angegebenen Fehlergrenzen.

Der Unterschied ist auf die Differenz der Intensitäten der Konversionselektronen des 26,36 keV und des 33,21 keV-Überganges zurückzuführen. Dieses Argument wird dadurch gestützt, dass für die Quellen, die mit $1430 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dicken Folien abgedeckt waren, kein Unterschied gefunden wurde. In diesem Fall werden gerade alle Elektronen der beiden Übergänge in den Folien absorbiert.

5.2. Diskussion

Es ist gezeigt worden, dass die aus publizierten β -Spektrometermessungen berechneten absoluten Intensitäten der Konversionselektronen des 26,36 keV- und des 33,21 keV-Überganges in ^{237}Np nach ^{241}Am -Zerfall jeweils um etwa einen Faktor 2 zu klein sind. Die im wesentlichen aus α - und γ -Intensitäten berechneten Werte für die Konversionselektronenintensitäten von $e(26) = (23,9 \begin{smallmatrix} +6,7 \\ -6,2 \end{smallmatrix})\%$ und $e(33) = (26,4 \begin{smallmatrix} +6,6 \\ -6,1 \end{smallmatrix})\%$ wurden dagegen durch unsere Messungen bestätigt. Aus diesen Werten ergibt sich für den 26,36 keV-Übergang ein Konversionskoeffizient von $\alpha(26) = 9,5 \pm 3,4$, der etwa dreimal höher als der nach SLIV und BAND ²⁶⁾ bzw. ROSE ²⁷⁾ berechnete ist. Dieses Ergebnis ist ebenfalls von ASARO et al. ²⁸⁾ gefunden worden, die auf derartige Abweichungen auch bei anderen El Übergängen in Transuranen mit ungerader Massenzahl hingewiesen haben.

Eine genaue Untersuchung des Problems wäre möglich, wenn der Konversionskoeffizient des 59,57 keV-Überganges und die γ -Intensitäten des 59,57 keV- und 26,36 keV-Überganges besser bekannt wären. Messungen dazu sind deshalb in Vorbereitung.

Der Autor dank besonders Herrn D. REHER für seine Einsatzbereitschaft und für die sorgfältige Durchführung der Messungen, Herrn A. SPERNOL für viele klärende Diskussionen und Herrn Dr. J. SPAEPEN, Direktor des ZBKM, für sein förderndes Interesse an dieser Arbeit.

Literaturverzeichnis

- 1) F. ASARO, F.C. REYNOLDS and L. PERLMAN, Phys. Rev. 87, 277 (1952)
- 2) F. ASARO, L. PERLMAN, Phys. Rev. 93, 1423 (1954)
- 3) L.L. GOLDIN, G.I. NOVIKOVA, E.F. TRETJAKOV, Conf. Acad. Sci. USSR on the Peacefull Uses of Atomic Energy, 1.-5. July 1955, Moskwa, englische Übersetzung: AEC-tr-2435 PT 1 (1955) oder UCRL-tr-242
- 4) S. ROSENBLUM, M. VALADARES, J. MILSTED, J. Phys. Radium 18, 42 (1957)
- 5) CHIN FAN LEANG, Compt. Rend. 255, 3155 (1962)
- 6) S.A. BARANOV, V.M. KULAKOV, A.G. ZERENKOV, V.M. SHATINSKY Soviet Phys. JETP 16, 562 (1963) oder Nucl. Phys. 43, 547 (1963)
- 7) S.A. BARANOV, V.M. KULAKOV, V.M. SHATINSKY, Soviet Phys. JETP 18, 1241 (1964) oder Nucl. Phys. 56, 252 (1964)
- 8) CH.M. LEDERER, UCRL-11 028 (1963)
- 9) A.H. WAPSTRA, Nucl. Phys. 57, 48 (1964)
- 10) W. MICHAELIS, Z. Physik 186, 42 (1965)
- 11) C.A. PROHASKA, UCRL-1395 (1951)
- 12) L.B. MAGNUSSON, Phys. Rev. 107, 161 (1957)
- 13) J.K. BELING, J.O. NEWTON, B. ROSE, Phys. Rev. 86, 797 (1952), 87, 670, 1144 (1952)
- 14) P.P. DAY, Phys. Rev. 97, 689 (1955)
- 15) H. JAFFE, T.O. PASSEL, C.I. BROWNE, I. PERLMAN, Phys. Rev. 97, 142 (1955)
- 16) J.O. NEWTON, Nucl. Phys. 5, 218 (1958)
- 17) F. WAGNER, Jr., M.S. FREEDMAN, D.W. ENGELKEMEIR, J.R. HUIZENGA Phys. Rev. 89, 502 (1953)
- 18) J.F. TURNER, Phil. Mag. (7), 46, 687 (1955)

- 19) J.M. HOLLANDER, W.G. SMITH, J.O. RASMUSSEN, Phys. Rev. 102, 1372 (1956)
- 20) M.E. BUNKER, J.P. MINZE, J.W. STARNER, Bull. Am. Phys. Soc. 2, 104 (1957)
- 21) D.C. HOFFMAN, B.J. DROPESKY, Phys. Rev. 109, 1282 (1958)
- 22) P.S. SAMOILOV, Bull. Acad.Sci. USSR, Phys. Ser. 23, 1401 (1959)
- 23) J.L. WOLFSON, J.J.H. PARK, Can. J. Phys. 42, 1387 (1964)
- 24) S.A. BARANOV, K.N. SHLYAGIN, Conf. Acad. Sci. USSR on the Peacefull Uses of Atomic Energy, July 1955, Moscow, p. 251, englische Übersetzung: AEC-tr-2435 PT 1, p. 183 (1956)
- 25) J.O. RASMUSSEN, F.L. CANAVAN, J.M. HOLLANDER, Phys. Rev. 107, 141 (1957)
- 26) L.A. SLIV, I.M. BAND, NP-tr-215 (1958)
- 27) M.E. ROSE, Internal Conversion Coefficients, Amsterdam 1958
- 28) F. ASARO, F.S. STEPHENS, J.M. HOLLANDER, I. PERLMAN, Phys. Rev. 117, 492 (1960)
- 29) W. van der EIJK, EUR 2248.e (1965)
- 30) M.A. LISTENGARTEN, Bull. Acad. Sci., USSR, Phys. Ser. 24, 1050 (1960)
- 31) H. KANTER, E.J. STERNGLOSS, Phys. Rev. 126, 620 (1962)
- 32) A. SPERNOL, E. DE ROOST, O. LERCH, EUR 477.e (1964)
- 33) A. SPERNOL, O. LERCH, Nucl. Instr. Meth. 32, 293 (1965)

Tabelle 1 : Intensitäten a(E) der α -Strahlen in % der Zerfälle des ^{241}Am

(Berücksichtigt sind nur die a(E) > 0,1 %)

E_{α} (keV)	E_{N_p} (keV)	ASARO et al. 1952, 1954	GOLDIN et al. 1955	ROSENBLUM et al. 1957		MAGNUSSON 1957	BARANOV et al. 1963, 1964	MICHAELIS 1965
				rel.	abs.			
5545	0	0,34 \pm 0,06	0,39 \pm 0,02	0,41	0,35		0,25	0,35 \pm 0,08
5513	33,21	0,21 \pm 0,06	0,24 \pm 0,02	0,27	0,23		0,12	0,21 \pm 0,05
5486	59,57	84,2 \pm 1,5	85,0 \pm 0,8	100,00	85,0	84,6	86,0	85,6 \pm 1,0
5443	102,9	13,6 \pm 1,5	12,8 \pm 0,5	14,8	12,6	13,5	12,7	12,3 \pm 0,6
5389	158,8	1,42 \pm 0,15	1,66 \pm 0,05	2,05	1,74	1,3	1,33	1,5 \pm 0,3

Tabelle 2 : Intensitäten $\gamma(E)$ der γ -Strahlen des ^{237}Np in % der ^{241}Am -Zerfälle
 (Berücksichtigt sind nur die $\gamma(E) > 0,1 \%$)

E (keV)	BELING et al. 1952	DAY 1955		JAFFE et al. 1955		MAGNUSSON 1957	MICHAELIS 1965
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	absolut	absolut
26,36	$2,8 \pm 0,3$	8,2	3,0	4	3,6	$2,5 \pm 0,2$	
33,21		0,5	0,18			0,11	
43,44		0,6	0,22			$(7,3 \pm 0,7)10^{-2}$	
59,57	$40,0 \pm 1,5$	100,0	36,4	40	36,4	$35,9 \pm 0,6$	38 ± 6

Tabelle 3 : Intensitäten der Konversionselektronen relativ zur L₂-Linie des 59,57 keV Überganges im ²³⁷Np nach ²⁴¹Am Zerfall

Linie	BARANOV et al. 1955	SAMOILOV 1959	WOLFSON et al. 1964	gewichteter Mittelwert	
26,36 keV					
L ₁	0,058	0,101		0,086	
L ₂	0,129	0,147		0,141	
L ₃	0,086	0,181		0,149	
M ₁	}	0,029	0,034	0,032	
M ₂		0,043		0,043	
M ₃		0,109	0,050	0,029	0,036
M ₄			0,012	0,013	0,013
M ₅			0,007	0,011	0,010
N ₁	0,168	0,022	0,014	0,017	
N ₂		} 0,043	0,035	} 0,048	
N ₃			0,015		
O		0,014		0,014	
27,03 keV					
L ₁		0,072			
L ₃		0,029			
M ₁		0,022			
M ₃		0,012			

Tabelle 3 : Fortsetzung 1

Linie	BARANOV et al. 1955	SAMOILOV 1959	WOLFSON et al. 1964	gewichteter Mittelwert
33,21 keV				
L ₁	0,329	0,396		0,374
L ₂	0,075	0,126		0,109
L ₃	0,078	0,085		0,082
M ₁		0,155	0,158	0,157
M ₂	0,220	0,042		0,042
M ₃		0,042	0,038	0,039
N ₁	0,071	0,063	0,054	} 0,068
N ₂			0,016	
O		0,019		0,019
42,82 keV				
L ₁		0,014		0,014
L ₃		0,058	0,007	0,024
M ₃		0,014	0,004	0,007
N		0,014		0,014
43,44 keV				
L ₁	0,257	0,240	0,205	0,223
L ₂	0,212	0,230	0,273	0,252
L ₃	0,166	0,229	0,215	0,212
M ₁	0,074	0,065	0,029	0,046
M ₂	0,079	0,061	0,079	0,074
M ₃		0,061	0,073	0,069
M ₄		0,003		0,003
N ₁	0,083	0,022	0,020	0,029
N ₂		0,011		0,011
O	0,018	0,007		0,011

Tabelle 3 : Forsetzung 2

Linie	BARANOV et al. 1955	SAMOILOV 1959	WOLFSON et al. 1964	gewichteter Mittelwert
55,54 keV				
L ₁	0,026	0,040	0,022	0,028
L ₂	0,018	0,035	0,023	0,026
L ₃		0,035		0,035
M ₁		0,010	0,005	0,007
M ₂		0,011	0,007	0,008
M ₃	0,021	0,011	0,005	0,009
O			0,005	0,005
59,57 keV				
L ₁	0,470	0,646	0,527	0,553
L ₂	1,000	1,000	1,000	1,000
L ₃	0,214	0,357	0,299	0,303
M ₁	0,115	0,144	0,170	0,155
M ₂	0,251	0,324	0,320	0,311
M ₃	0,088	0,070	0,087	0,082
M ₄		0,017	0,009	0,011
M ₅		0,014	0,011	0,012
N ₁		0,043	0,043	0,043
N ₂	0,096	0,094	0,088	0,091
N ₃		0,014	0,024	0,021
N ₄			0,001	0,001
N ₅			0,004	0,004
O	0,027	0,045	0,045	0,042
P			0,013	0,013

Tabelle 3 : Forsetzung 3

Linie	BARANOV et al. 1955	SAMOILOV 1959	WOLFSON et al. 1964	gewichteter Mittelwert
98,95 keV				
L ₁			0,00044	0,0004
L ₂		0,0091	0,0101	0,0098
L ₃		0,0054	0,0059	0,0057
M ₁			0,0003	0,0003
M ₂		0,0029	0,0022	0,0024
M ₃		0,0014	0,0016	0,0015
N		0,0007		0,0007
O		0,0004		0,0004
126,7 keV				
K		0,0074		0,0074
L ₁		0,00014		0,00014
L ₃		0,00007		0,00007
M		0,00007		0,00007
N		0,00007		0,00007
158,8 keV				
K		0,0074		0,0074
L _{1,2}		0,00004		0,00004
L ₃		0,00004		0,00004
M		0,00002		0,00002

Tabelle 4 : Konversionsverhältnisse L_1/L_3 und L_2/L_3 des 59,57 keV-Überganges im ^{237}Np

L_1/L_3	L_2/L_3	$(L_1+L_2)/L_3$	
		3,0	WAGNER et al. 17)
		$4,4 \pm 1$	JAFFE et al. 15)
		$6,4 \pm 0,8$	TURNER 18)
2,2	4,7		BARANOV et al. 24)
2,4	4,7		CANAVAN, zitiert in 19)
$1,5 \pm 0,37$	$3,3 \pm 0,82$		HOLLANDER et al. 19)
1,6	3,2		RASMUSSEN et al. 25)
1,7	3,3		ROSENBLUM et al. 4)
1,8	2,8		SAMOILOV 22)
$1,76 \pm 0,12$	$3,35 \pm 0,25$		WOLFSON et al. 23)
$1,85 \pm 0,32$	$3,63 \pm 0,76$		MITTELWERT

Tabelle 5 : In der Literatur angegebene Konversionskoeffizienten der betrachteten Übergänge im ^{237}Np

E keV	α_L	α	
26,36		$\leq 5,5$	JAFFE et al. 15)
		$6,7 \pm 3,0$	TURNER 18)
		~ 6	MAGNUSSON 12)
		4,7	RASMUSSEN et al. 24)
	7,1	10 ± 2	ASARO et al. 28)
33,21		> 400	JAFFE et al. 15)
		> 240	TURNER 18)
43,44		~ 180	MAGNUSSON 12)
		~ 46	ROSENBLUM et al. 4)
	149 ± 30		WOLFSON et al. 23)
55,54	$> 0,3$		TURNER 18)
59,57	$0,72 \pm 0,07$	$0,92 \pm 0,1$	JAFFE et al. 15)
		$\sim 1,3$	RASMUSSEN et al. 25)
	$0,80 \pm 0,08$	$1,0 \pm 0,1$	ASARO et al. 28)

Tabelle 6 : Theoretisch berechnete Konversionskoeffizienten nach SLIV und BAND ²⁵⁾
und nach ROSE ²⁶⁾

(In gesamten Konversionskoeffizienten α wurde bei SLIV und BAND der Einfluss der M-Elektronen mit den Werten von ROSE berücksichtigt, da die Tabellen der ersten Autoren den M-Einfluss nicht enthalten.)

E (keV)	Art des Überganges	α_K		α_L		α_M	α	
		ROSE	SLIV BAND	ROSE	SLIV BAND	ROSE	ROSE	SLIV BAND
26,36	E1			2,07	3,05	1,36	3,43	4,41
33,21	97,5 % M1 + 2,5 % E2			149	158	57,3	206	215
43,44	84 % M1 + 16 % E2			132	134	69	201	203
55,54	82 % M1 + 18 % E2			153	152	26	179	178
59,57	E1			0,34	0,38	0,14	0,48	0,52
98,95	E2			11,9	11,1	5,5	17,4	16,6
102,9	M2			69,2	55,6	31	100	87
126,7	M2	45	40	27	23	11	83	74
158,8	M2	227	227	10,5	10,4	4,1	242	242

Tabelle 7 : Die Intensitäten (in %) der Konversionselektronen und der γ -Strahlen nach ^{241}Am -Zerfall, ermittelt aus den in der Literatur angegebenen direkten experimentellen Daten

E (keV)	e	γ	N=e+ γ	$\alpha=e/\gamma$
26,36	9,8 $\begin{smallmatrix} +0,3 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$	2,9 $\begin{smallmatrix} +0,7 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	12,7 $\begin{smallmatrix} +1,0 \\ -1,4 \end{smallmatrix}$	3,4 $\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$
33,21	14,2 $\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -1,5 \end{smallmatrix}$	0,12 $\begin{smallmatrix} +0,06 \\ -0,01 \end{smallmatrix}$	14,3 $\begin{smallmatrix} +0,7 \\ -1,5 \end{smallmatrix}$	118 $\begin{smallmatrix} +17 \\ -48 \end{smallmatrix}$
43,44	14,4 $\begin{smallmatrix} +0,4 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	0,081 $\begin{smallmatrix} +0,14 \\ -0,008 \end{smallmatrix}$	14,5 $\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	178 $\begin{smallmatrix} +25 \\ -114 \end{smallmatrix}$
55,54	1,66 $\begin{smallmatrix} +0,59 \\ -0,34 \end{smallmatrix}$	-	1,66 $\begin{smallmatrix} +0,59 \\ -0,34 \end{smallmatrix}$	∞
59,57	41,7 $\begin{smallmatrix} +2,3 \\ -5,7 \end{smallmatrix}$	36,4 $\begin{smallmatrix} +3,6 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	78,1 $\begin{smallmatrix} +5,9 \\ -6,2 \end{smallmatrix}$	1,15 $\begin{smallmatrix} +0,18 \\ -0,18 \end{smallmatrix}$
98,95	0,33 $\pm 0,01$	0,023 $\pm 0,002$	0,35 $\pm 0,01$	14,3 $\begin{smallmatrix} +1,9 \\ -1,5 \end{smallmatrix}$
126,7	0,12 $\pm 0,01$	0,007	0,13 $\pm 0,01$	17 $\pm 1,5$
158,8	0,13 $\pm 0,01$	-	0,13 $\pm 0,01$	∞

Tabelle 8 : Die im wesentlichen aus dem Zerfallsschema und aus α -Intensitäten berechneten Intensitäten (in %) der Konversionselektronen und der γ -Strahlen nach ^{241}Am -Zerfall

E (keV)	e	γ	N = e + γ	$\alpha = e/\gamma$
26,36	23,9 $\begin{smallmatrix} +6,7 \\ -6,2 \end{smallmatrix}$	2,5 \pm 0,2	26,4 $\begin{smallmatrix} +6,5 \\ -6,0 \end{smallmatrix}$	9,5 $\begin{smallmatrix} +3,4 \\ -3,2 \end{smallmatrix}$
33,21	26,4 $\begin{smallmatrix} +6,6 \\ -6,1 \end{smallmatrix}$	0,12 $\begin{smallmatrix} +0,06 \\ -0,01 \end{smallmatrix}$	26,5 $\begin{smallmatrix} +6,5 \\ -6,0 \end{smallmatrix}$	220 $\begin{smallmatrix} +165 \\ -69 \end{smallmatrix}$
43,44	13,7 $\begin{smallmatrix} +0,9 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$	0,08 $\begin{smallmatrix} +0,14 \\ -0,01 \end{smallmatrix}$	13,8 $\begin{smallmatrix} +1,0 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$	171 $\begin{smallmatrix} +239 \\ -29 \end{smallmatrix}$
55,54	1,0 $\begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	-	1,0 $\begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	∞
59,57	36,4 $\begin{smallmatrix} +7,2 \\ -3,8 \end{smallmatrix}$	36,4 $\begin{smallmatrix} +3,6 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	72,8 $\begin{smallmatrix} +10,8 \\ -4,2 \end{smallmatrix}$	1,0 \pm 0,1
98,95	0,33 \pm 0,01	0,023 \pm 0,002	0,35 \pm 0,01	14,3 $\begin{smallmatrix} +1,9 \\ -1,5 \end{smallmatrix}$
126,7	0,12 \pm 0,01	0,007	0,13 \pm 0,01	17 \pm 1,5
158,8	0,13 \pm 0,01	-	0,13 \pm 0,01	∞

Tabelle 9 : Intensitäten N_i von ^{241}Am α -Zerfällen (in %), bei denen i Folgeelektronen aufgetreten. (In der ersten Spalte geben die Zahlen die Niveauenergien und die Bindestriche die Übergänge zwischen ihnen an).

Weg im Zerfallschema	Konversionselektronen allein							
	Werte aus Tab. 7				Werte aus Tab. 8			
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_1	N_2	N_3	N_4
158-0	0,13				0,13			
158-59-0	0,14	0,15			0,13	0,12		
158-59-33-0		0,01	0,04			0,01	0,08	
158-33-0	0,01	0,12			0,01	0,12		
158-102-59-0		0,66	0,76			0,34	0,34	
158-102-59-33-0			0,05	0,18			0,03	0,21
102-59-0	5,16	5,88			4,72	4,69		
102-59-33-0		0,41	1,38			0,39	3,03	
59-0	34,92				31,21			
59-33-0	2,49	8,19			2,48	20,13		
33-0	1,64				0,18			
Summe	44,39	15,42	2,23	0,18	38,86	25,80	3,48	0,21
Gesamtsumme	62,22				68,35			

Tabelle 9 : Fortsetzung

Weg im Zerfallschema	Konversions- und Auger-Elektronen									
	Werte aus Tab. 7					Werte aus Tab. 8				
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N _{>4}	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N _{>4}
158-0	0,11	0,02				0,11	0,02			
158-59-0	0,05	0,11	0,08	0,05		0,05	0,10	0,06	0,04	
158-59-33-0				0,01	0,04				0,03	0,06
158-33-0		0,05	0,07	0,01			0,05	0,07	0,01	
158-102-59-0		0,11	0,37	0,46	0,48		0,06	0,18	0,21	0,23
158-102-59-33-0				0,01	0,22					0,24
102-59-0	2,10	4,03	2,84	2,07		1,93	3,58	2,26	1,64	
102-59-33-0		0,06	0,26	0,52	0,95		0,05	1,13	0,16	2,08
59-0	14,13	20,79				12,62	18,59			
59-33-0	0,87	2,57	3,76	3,38		0,90	4,14	9,25	8,32	
33-0	0,60	1,04				0,06	0,12			
Summe	17,86	28,78	7,38	6,51	1,69	15,67	26,71	12,95	10,41	2,61
Gesamtsumme	62,22					68,35				

Tabelle 10 : Ergebnisse der Messungen (linke Seite von Gleichung (4)) und der Berechnung der Summen $(1/2) \sum N_i E_i$ (rechte Seite von Gleichung (4)) (in %) ⁱ

Dicke der Folien ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Abschneidenergie (keV)	Messwerte (linke Seite von (4))	$(1/2) \sum N_i E_i$ (rechte Seite von (4)) berechnet aus:	
			Literaturwerten der Konv. Elektr. (Tabelle 7)	Zerfallsschema u. α -Intensitäten (Tabelle 8)
15	1,2	$24,0 \pm 1,0$	$21,9 \pm 2,0$	$25,3 \pm 2,0$
30	2,0	$25,4 \pm 1,0$	$21,6 \pm 2,0$	$25,0 \pm 2,0$
1430	22,5	$6,2 \pm 0,3$	$6,6 \pm 1,0$	$6,6 \pm 1,0$

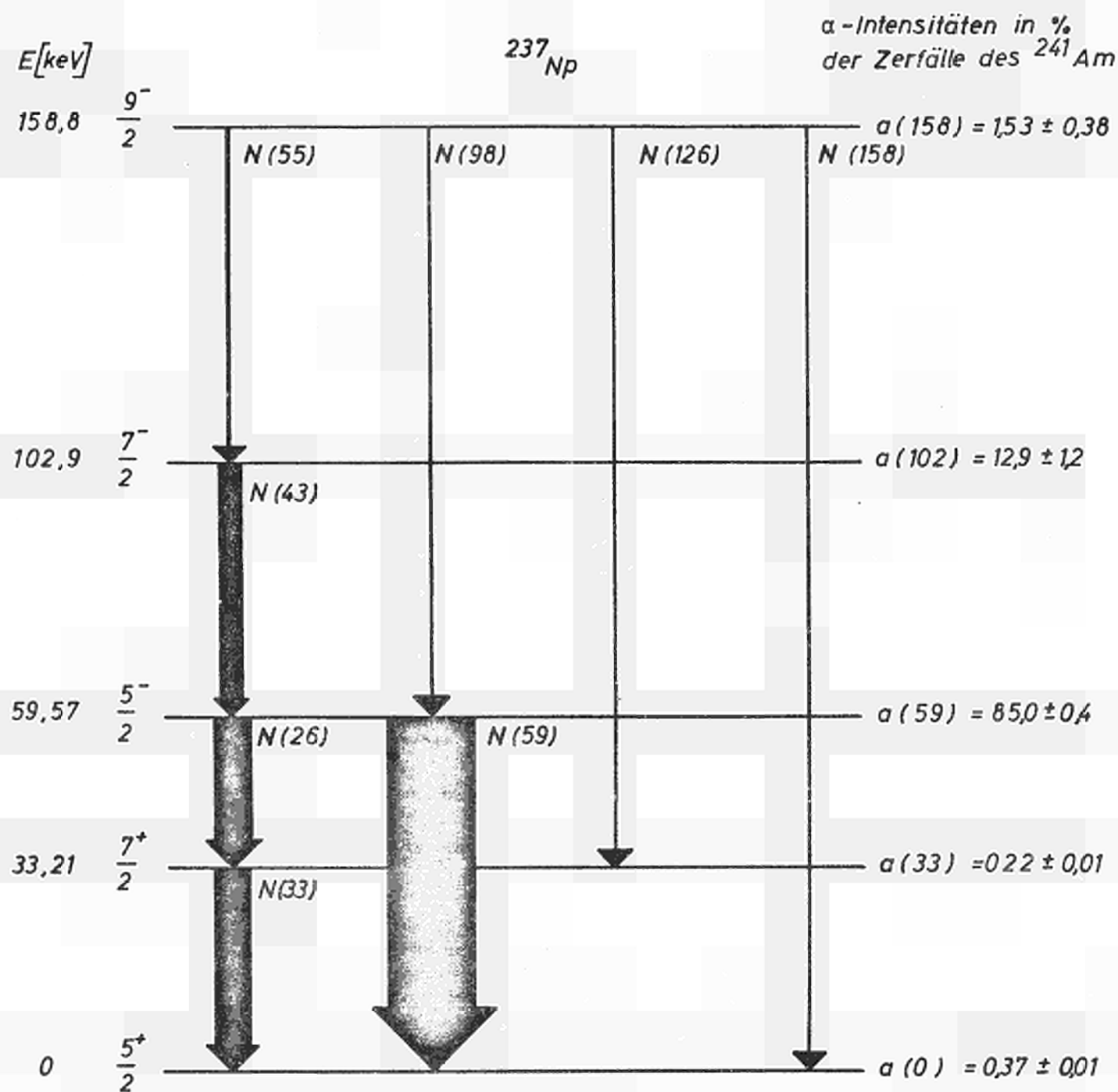


Abb.1: Vereinfachtes Zerfallsschema von $^{237}_{\text{Np}}$.

Es sind nur die Übergänge enthalten, deren Intensität größer als 0,1% sind.

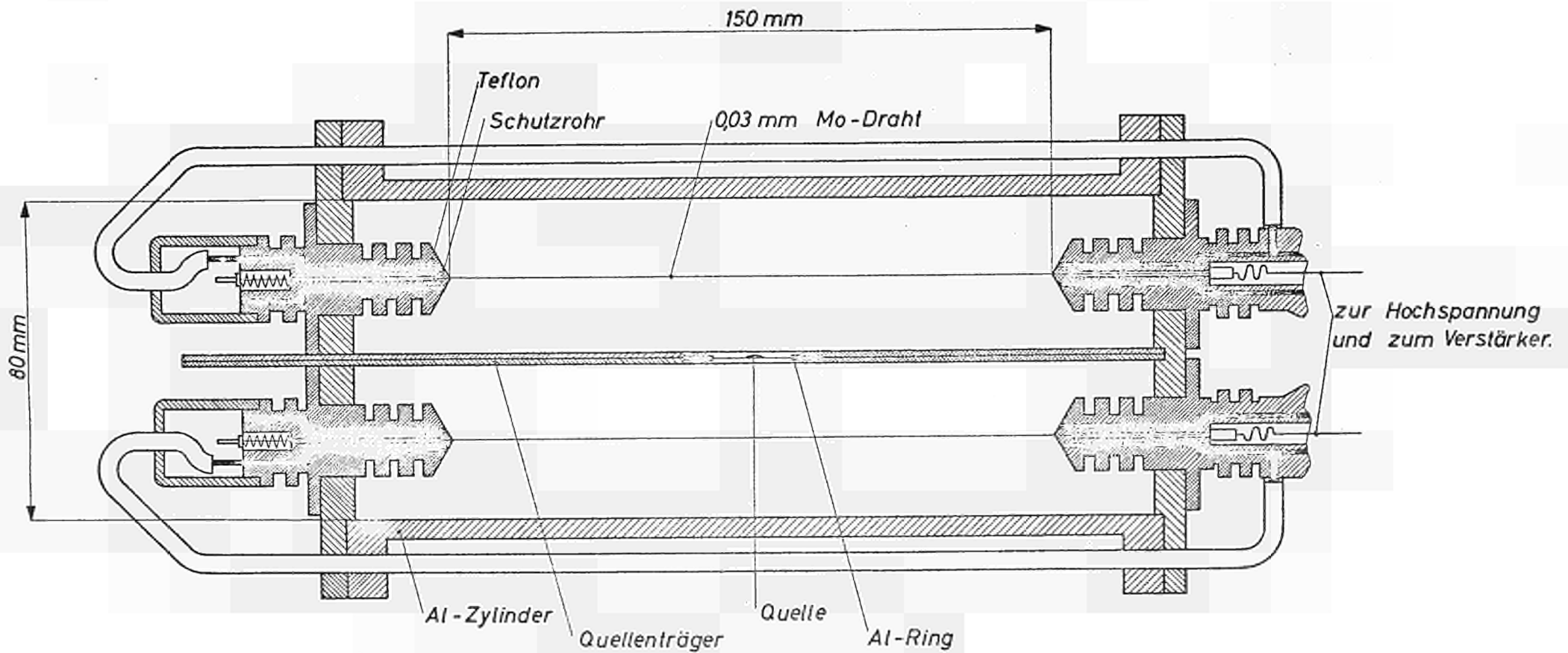


Abb.2 4π - Proportionalzählrohr.
 Das Zählrohr befindet sich in einem Stahlzylinder,
 der auf der Zeichnung weggelassen ist.

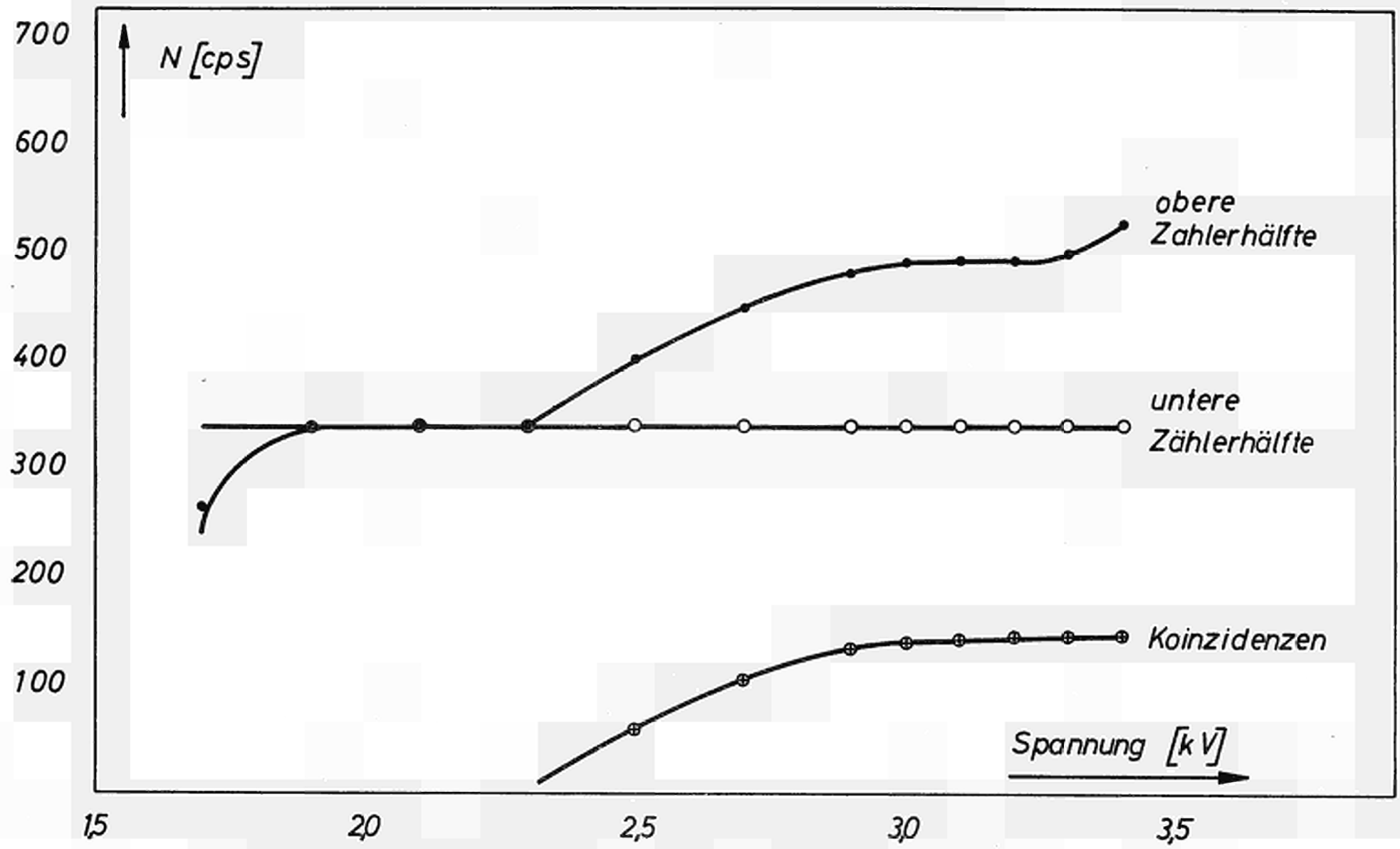
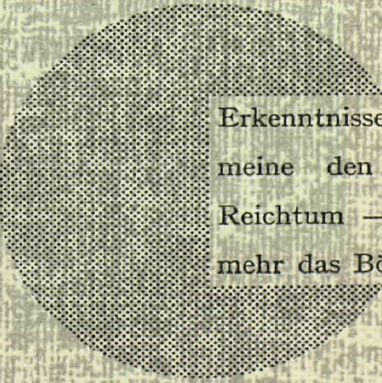


Abb. 3: Typische Plateaus beim α -Zerfall des ^{241}Am .
 Quelle: ^{241}Am (1017 pr) ; Zählgas: 1 at CH_4 ; Folien: $15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ symmetrisch.
 Spannung: in oberer Zählerhälfte variiert, in unterer konstant 2,1 kV gehalten.



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

VERTRIEBSSTELLEN

Alle Euratom-Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf dem Umschlag jedes Berichts stehen, deutlich angeben).

PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES

98, Chaussée de Charleroi, Bruxelles 6

Banque de la Société Générale - Bruxelles
compte N° 964.558,

Banque Belgo Congolaise - Bruxelles
compte N° 2444.141,

Compte chèque postal - Bruxelles - N° 167.37,

Belgian American Bank and Trust Company - New York
compte No. 22.186,

Lloyds Bank (Europe) Ltd. - 10 Moorgate, London E.C.2,
Postcheckkonto - Köln - Nr. 160.861.

OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE
40-42, rue de Louvain - Bruxelles
BELGISCH STAATSBLED
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
9, rue Goethe - Luxembourg

DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
26, rue Desaix - Paris 15^e

NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

EURATOM — C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)