

# Die Zahl der $\gamma$ -Quanten des Kaliums

Von G. BACKENSTOSS\* und K. GOEBEL

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Freiburg i. Br.

(Z. Naturforschg. **10 a**, 920–924 [1955]; eingegangen am 11. Oktober 1955)

Eine neue Absolutbestimmung der Zahl der von 1 g natürlichen Isotopengemisches des Kaliums emittierten  $\gamma$ -Quanten ergab den Wert  $3,50 (\pm 4\%)$  pro sec, was bei Annahme des sichersten Wertes für den  $\beta$ -Zerfall von 28,0/g sec (vgl. <sup>1, 4, 11, 12</sup>) ein Verzweungsverhältnis von 0,125 ergibt. Dieser Wert wurde durch Vergleich mit der  $\gamma$ -Strahlung des Praseodyms 142 erhalten, das eine ähnliche  $\gamma$ -Energie besitzt und dessen Aktivität sich durch  $\beta$ - $\gamma$ -Koinzidenzmessungen absolut bestimmen läßt. Ebenso wurden Vergleichsmessungen mit Cobalt 60 und Eisen 59 vorgenommen, die sich in guter Übereinstimmung mit den Praseodym-Messungen befanden.

Die Zahl der vom natürlichen Isotopengemisch des Kaliums emittierten  $\gamma$ -Quanten ist von großer Bedeutung für die geologischen Altersbestimmungen an K-Mineralien. Es liegen bereits zahlreiche Messungen vor, die jedoch zwischen den Werten 3,0 und 3,6  $\gamma$ -Quanten pro g K und sec schwanken. Hieraus folgt eine Unsicherheit von ungefähr 10% für das Verzweungsverhältnis  $n_\gamma : n_\beta$  des Kaliums und für die Alterswerte, denn die Zahl der pro sec und g K erzeugten Argon-Atome ist gleich der Zahl der  $\gamma$ -Quanten des Kaliums. Nach Burch<sup>1</sup> liegt der bisherige Mittelwert aller Ergebnisse bei 3,48  $\gamma$ -Quanten/sec/g K.

Neuere Messungen unter Verwendung geologischer bzw. radioaktiver Altersangaben (Uran-Blei-Methode etc.) (vgl. Shillibeer et al.<sup>1a</sup> und dort auffindbare frühere Zitate) ergaben Verzweungsverhältnisse von 0,08 – 0,09 bzw. 0,06, Werte, die wesentlich von den direkten Messungen der  $\beta$ ,  $\gamma$ -Intensitäten abweichen. Deshalb erschien es angebracht, dieses Problem nochmals zu untersuchen und einen möglichst genauen Wert für die Zahl der  $\gamma$ -Quanten des Kaliums anzugeben.

Die hier beschriebene Methode gestattet die Zahl der  $\gamma$ -Quanten absolut zu bestimmen. Das Verfahren beruht auf einem Vergleich der  $\gamma$ -Intensität des Kaliums mit einer  $\gamma$ -Strahlung möglichst gleicher Energie, die jedoch in Kaskade mit  $\beta$ -Strahlen emittiert wird. Präparate eines solchen Vergleichsstrahlers können durch Koinzidenzmessungen absolut geeicht werden. Dann läßt sich das Kalium auf die bekannte Präparatstärke des Vergleichsstrahlers

beziehen. Die Energie der  $\gamma$ -Quanten des Kaliums wird mit 1,45 – 1,54 MeV angegeben, jedoch liegen die neueren Werte von Bell<sup>2</sup>, Pringle<sup>3</sup> und Good<sup>4</sup> einheitlich bei 1,46 – 1,47 MeV.

## $\gamma$ -Intensitätsvergleich mit Praseodym

Als geeigneter Vergleichsstrahler bot sich das Pr<sup>142</sup> dar. Es besitzt eine  $\gamma$ -Strahlung von 1,57 MeV in Koinzidenz mit  $\beta$ -Strahlen der maximalen Energie von 0,586 MeV. Daneben findet ein direkter  $\beta$ -Übergang in den Grundzustand des Folgekerns mit  $E_{\max} = 2,166$  MeV statt. Das Pr<sup>142</sup> hat den weiteren Vorteil, daß es durch Aktivierung mit thermischen Neutronen mit einem Wirkungsquerschnitt von etwa  $10^{-23}$  cm<sup>2</sup> aus dem Reinisotop Pr<sup>141</sup> ohne Beimengung von anderer Strahlung erzeugt werden kann. Es besitzt eine brauchbare Halbwertszeit von 19,2 h.

Eine Messung der Koinzidenzen  $n_{\beta\gamma}$  zwischen  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen, sowie der Anzahl der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Impulse  $n_\beta$  bzw.  $n_\gamma$  ermöglicht die Bestimmung der Präparatstärke  $D$ . Es ergibt sich

$$D = \frac{n_\gamma n_\beta}{n_{\beta\gamma}} F,$$

wobei der Korrekturfaktor  $F$  sich berechnet aus

$$F = \frac{\eta_2}{(1-\alpha)\eta_1 + \alpha\eta_2}.$$

$\alpha$  bezeichnet das Verzweungsverhältnis und  $\eta_1, \eta_2$  sind die Nachweiswahrscheinlichkeiten für die beiden  $\beta$ -Komponenten im Zählrohr, wobei  $\eta_1$  für die energiereichere Komponente steht.

\* z. Zt. Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, N. J., USA.

<sup>1</sup> P. R. J. Burch, Nature, Lond. **172**, 361 [1953].

<sup>1a</sup> H. A. Shillibeer, R. D. Russell, R. M. Farquhar u. E. A. W. Jones, Phys. Rev. **94**, 1793 [1954].

<sup>2</sup> P. R. Bell u. J. M. Cassidy, Phys. Rev. **77**, 409 [1950].

<sup>3</sup> R. W. Pringle, S. Standil u. K. J. Roulston, Phys. Rev. **77**, 841 [1950].

<sup>4</sup> M. L. Good, Phys. Rev. **81**, 891 [1951].



Der Faktor  $F$  läßt sich wie folgt berechnen. Es ist

$$\eta = \Omega \varepsilon f_R f_S.$$

Hier ist der Raumwinkel  $\Omega$  und die Ansprechwahrscheinlichkeit  $\varepsilon$  des Zählrohrs für beide  $\beta$ -Komponenten gleich. Der Faktor  $f_R$ , der die Rückstreuung berücksichtigt, kann dadurch gleich gemacht werden, daß man das Präparat auf eine dicke Unterlage bringt, so daß man den Sättigungswert der Rückstreuung erreicht. Die Selbstabsorption im Präparat  $f_S$  und die Absorption im Fenster und der Luft  $f_F$  ist bei dünnem Präparat und Fensterdicke relativ klein. Sie wurde unter Verwendung der bei Bleuler und Zünti<sup>5</sup> angegebenen Halbwertsdicke für  $\beta$ -Strahler berechnet. Es ergibt sich für eine Präparatdicke von 15 mg/cm<sup>2</sup> Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-Pulver ein Wert des Korrekturfaktors von 0,88\*.

Experimentell läßt sich die Präparatstärke  $D$  durch Bestimmung des Quotienten  $n_{\beta\gamma}(d)/n_{\beta}(d)$  für verschiedene Absorptionsdicken  $d$  und Extrapolation zur Schichtdicke 0 ermitteln. Die Absorptionsdicke  $d$

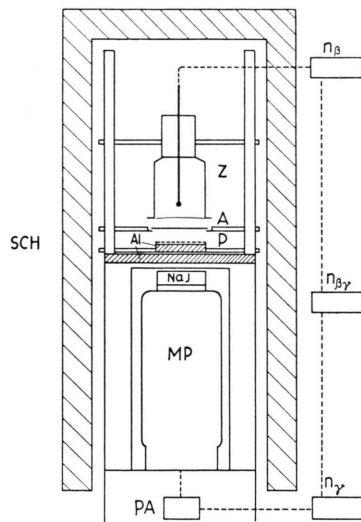


Abb. 1. Versuchsanordnung für die Koinidenzmessungen. Z Glockenzählrohr zum Nachweis der  $\beta$ -Strahlen, Fensterdicke 1,5 mg/cm<sup>2</sup>, Fensterdurchmesser 3 cm; A Absorberhalter (nur für die erste Meßreihe); MP Multiplier mit NaJ-Kristall (1 cm  $\times$  3 cm); P Präparat (Al 5 mm stark, 9,09 cm<sup>2</sup>);  $n_{\beta}$   $\beta$ -Auslösezähler (2,5  $\cdot$  10<sup>-4</sup> sec Auflöszeit);  $n_{\gamma}$   $\gamma$ -Zähler;  $n_{\beta\gamma}$  Koinidenzzähler (8,5  $\cdot$  10<sup>-6</sup> sec Auflöszeit); Sch Bleiabschirmung 5 cm zur Verringerung des Nulleffekts; PA Vorverstärker.

<sup>5</sup> E. Bleuler u. W. Zünti, Helv. Phys. Acta 19, 375 [1946].

\* Für die Selbstabsorption in dünnen Quellen gilt

$$f_S = (1/\mu t) \cdot (1 - e^{-\mu t}) = e^{-\mu t/2};$$

$t$ =Dicke der Quelle;  $\mu$ =Absorptionskoeffizient. Die Absorp-

setzung setzt sich zusammen aus der Präparatdicke und den Absorptionsäquivalenten der Luft und des Zählrohrfensters. Die hier einzusetzende Präparatdicke für die Selbstabsorption der Quelle ist näherungsweise gleich der halben Flächendichte des Präparates.

In zwei getrennten Meßreihen wurde jeweils spektroskopisch reines Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-Pulver mit Neutronen der Reaktion (Be + d) in Paraffin bestrahlt. Das Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-Pulver wurde daraufhin gut durchmischt und auf 5 mm starken Aluminium-Unterlagen verschiedene Schichtdicken aus einer Aufschwemmung des Pulvers mit Aceton niedergeschlagen. Bei dem Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub> der ersten Bestrahlung variierte man außer der Schichtdicke noch zusätzliche äußere Aluminium-Absorber, um festzustellen, ob der Einfluß der Präparatschichtdicke in der gleichen Weise in das Ergebnis eingeht wie der der außerhalb des Präparats liegenden Absorberschichten. In der nachfolgenden Tab. 1 sind die Werte  $n_{\beta\gamma}(d)/n_{\beta}(d)$  wiedergegeben.

Schichtdicke mg/cm <sup>2</sup> Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	Absorber 0	Absorber 20 $\mu$ Al	Absorber 50 $\mu$ Al
1. Meßreihe			
3,72	7,24 $\cdot$ 10 <sup>-4</sup>	6,71 $\cdot$ 10 <sup>-4</sup>	6,54 $\cdot$ 10 <sup>-4</sup>
9,30	7,12	6,83	6,45
18,90	6,80	6,50	6,03
statistischer Fehler: 2,5%			
2. Meßreihe			
2,64	7,85 $\cdot$ 10 <sup>-4</sup>		
5,05	7,73		
11,30	7,20		
16,60	6,80		
statistischer Fehler: 1,5%			

Tab. 1. Werte von  $n_{\beta\gamma}(d)/n_{\beta}(d)$ .

Die Werte von  $n_{\beta\gamma}(d)/n_{\beta}(d)$  sind in nachfolgendem Diagramm (Abb. 2) gegen die Schichtdicke  $d$  aufgetragen. Die Extrapolation der ersten und zweiten Meßreihe ergibt für die Schichtdicke 0 die Werte 7,42  $\cdot$  10<sup>-4</sup> bzw. 8,25  $\cdot$  10<sup>-4</sup>. Die in beiden Meßreihen ermittelten Werte von  $n_{\gamma}$  werden auf 1 mg Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-Pulver bezogen. Bei der ersten Meßreihe erhält man für  $n_{\gamma}$  0,0538 pro sec und mg Pr, und bei der zweiten Meßreihe 0,0612 pro sec und mg Pr. Der mittlere Fehler dieser Bestimmung beträgt in beiden Fällen 1,2%. Mit diesen Werten ergibt sich für die Präparatstärke  $D$ :

tionsdicke für Praseodym ist auf Aluminium umzurechnen durch Multiplikation mit dem Faktor 1,1 (vgl. E. Bleuler und G. J. Goldsmith<sup>6</sup>).

<sup>6</sup> E. Bleuler u. G. J. Goldsmith, Experimental Nucleonics, London 1952.

$$D = \frac{n_{\beta}(0) n_{\gamma}}{n_{\beta\gamma}(0)} = 72,5 \beta/\text{sec mg} \pm 3,3\% \quad (1. \text{ Meßreihe}),$$

$$D = \frac{n_{\beta}(0) n_{\gamma}}{n_{\beta\gamma}(0)} = 74,2 \beta/\text{sec mg} \pm 2,7\% \quad (2. \text{ Meßreihe})$$

Die geeichten Praseodym-Präparate wurden in der Weise mit dem Kalium verglichen, daß man zunächst die Aktivität einer konzentrierten Kalium-Carbonat-Lösung mit dem Multiplier bestimmte und der Lösung dann ein, verglichen mit ihr sehr kleines, Volumen in  $\text{HNO}_3$  gelösten Pr-Oxyds zusetzte. Dadurch waren sowohl für die  $\gamma$ -Quanten des Kaliums wie auch für die  $\gamma$ -Quanten des Praseodym-Zusatzes die gleichen geometrischen Verhältnisse in bezug auf den Multiplier gewährleistet. In jeder Meßreihe wurden sowohl mit verschiedenen Kalium-Konzentrationen wie auch mit verschiedenen Mengen gelösten Praseodyms mehrere Vergleichsmessungen durchgeführt.

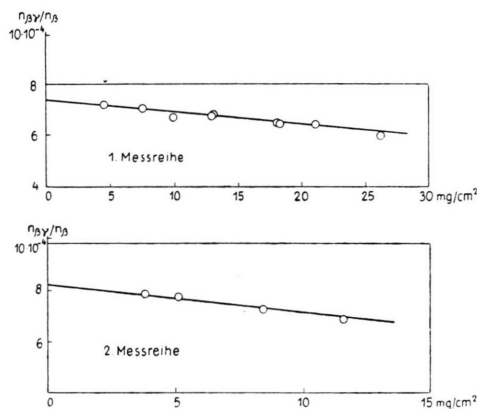


Abb. 2.  $n_{\beta\gamma}/n_{\beta}$  in Abhängigkeit von  $d$ ,  
Abszisse  $d = 1,1/2 \cdot \text{Präparatdicke} + \text{Absorberdicke}$ .

Die Zahl der  $\gamma$ -Quanten wurde hierbei auf 1 g K und die  $\gamma$ -Quanten aus der Praseodymzugabe auf 1 mg  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  bezogen. Der Mittelwert aus jeweils drei Vergleichsmessungen ergibt für das Praseodym der 1. Bestrahlung

$$\gamma/\text{g K} : \gamma/\text{mg Pr}_6\text{O}_{11} = 0,97 \pm 1,3\%$$

und für die 2. Bestrahlung

$$\gamma/\text{g K} : \gamma/\text{mg Pr}_6\text{O}_{11} = 0,95 \pm 1,0\%.$$

Aus den beiden Meßreihen ergibt sich die Zahl der  $\gamma$ -Quanten pro sec und g K zu

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = \alpha(70,0 \pm 4,8\%) \quad (1. \text{ Bestrahlung}),$$

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = \alpha(71,0 \pm 3,9\%) \quad (2. \text{ Bestrahlung}).$$

<sup>7</sup> E. N. Jensen, L. Laslett u. D. J. Zaffarano, Phys. Rev. **80**, 862 [1950].

Von den in der Literatur angegebenen Werten für das Verzweigungsverhältnis  $\alpha$  dürfte der Wert 5% am wahrscheinlichsten sein, da er am besten mit zwei unabhängigen Messungen<sup>7,8</sup> übereinstimmt. Nimmt man für  $\alpha = 0,05$  an und den Mittelwert für die obigen beiden Messungen von  $70,5 \pm 4,3\%$ , so erhält man

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = 3,52.$$

Der Einfluß der unterschiedlichen  $\gamma$ -Energien von Kalium und Praseodym wurde abgeschätzt. Er dürfte sich auf das Ergebnis mit weniger als 0,5% auswirken. Ebenso können die von der  $\beta$ -Strahlung erzeugten Bremsquanten unberücksichtigt bleiben. Die Reinheit des Praseodyms wurde röntgenspektrographisch geprüft. Es zeigte sich eine geringe Lanthan-Verunreinigung (etwa 1%). Sorgfältigste Messungen der Pr-Halbwertszeit ließen jedoch keine La-Aktivität erkennen, so daß die Messungen dadurch nicht gestört werden könnten.

### Cobalt 60 und Eisen 59 als Vergleichsstrahler

Zur Ergänzung und Kontrolle der obigen Ergebnisse erschien es wünschenswert, die Zahl der  $\gamma$ -Quanten des Kaliums auch noch durch andere Vergleichsmessungen zu bestimmen. In das obige Ergebnis geht als Faktor das Verzweigungsverhältnis der beiden  $\beta$ -Übergänge des Praseodyms 142 ein, das nicht mit derselben Genauigkeit angegeben werden kann wie die anderen Bestimmungswerte der obigen Messungen. Wenn auch die  $\gamma$ -Energien, die vom  $\text{Co}^{60}$  und  $\text{Fe}^{59}$  ausgesandt werden, im Mittel etwa 250 kV niedriger sind als die Energie der  $\gamma$ -Strahlen des  $\text{K}^{40}$ , so bietet sich bei der Verwendung der beiden Isotope die Möglichkeit, ohne Korrektur die Präparatstärke exakt zu bestimmen, da im Zerfallsschema des  $\text{Co}^{60}$  nur ein  $\beta$ -Übergang und in dem des  $\text{Fe}^{59}$  zwei  $\beta$ -Übergänge mit fast der gleichen Energie auftreten. Die beiden Vergleichsstrahler haben überdies den Vorteil, daß infolge ihrer größeren Halbwertszeit ein genaueres Arbeiten und Wiederholen der Messungen möglich ist. Die Unterschiede der  $\gamma$ -Energie können durch Korrekturen nachträglich berücksichtigt werden.

Das benutzte Verfahren ist das gleiche wie beim Praseodym-Kalium-Vergleich. Zunächst wird die Präparatstärke in einer Koinzidenzanordnung mit Zähl-

<sup>8</sup> A. V. Pohm, W. E. Lewis, J. H. Talboth u. E. N. Jensen, Phys. Rev. **95**, 1523 [1954].

rohr (Glockenzählrohr mit 1,5 mg/cm<sup>2</sup> Fensterdicke) und Multiplier (RCA 5819) bestimmt. Zur Herstellung der Präparate wurde eine kleine Menge metallisches Co<sup>60</sup> in Salpetersäure aufgelöst, die Salpetersäure auf dem Sandbad vorsichtig verdampft, dem Cobaltnitrat etwas Wasser, Gelatine und Invitol zugesetzt und einige Tropfen dieser Lösung auf einen Aluminiumträger von 5 mm Dicke und etwa 9 cm<sup>2</sup> Fläche gleichmäßig verteilt. Auf der Aluminiumunterlage befand sich als Präparatsträger eine dünne Aluminiumfolie von 20  $\mu$  Dicke. Nach der Eichung der Cobalt- bzw. Eisen-Präparate konnten diese mit der Aluminium-Trägerfolie in Salzsäure gelöst werden. Die so erhaltene geeichte Lösung wurde als Vergleichssubstanz der Kalium-Lösung zugesetzt.

Die Bestimmung der Präparatstärke von zwei Cobalt- und einem Eisen-Präparat ergab:

Co <sub>I</sub>	$D = 2\,170 \beta/\text{sec} \pm 0,7\%$
Co <sub>II</sub>	$D = 13\,850 \beta/\text{sec} \pm 0,5\%$
Fe	$D = 19\,800 \beta/\text{sec} \pm 0,5\%$

Zur Auflösung der Präparate wurde nur etwa 1 cm<sup>3</sup> Salzsäure benötigt, so daß die Volumenzunahme der Kalium-Lösung und damit die Veränderung der Geometrie infolge der Präparat-Zugabe zu vernachlässigen war. Die erste Vergleichslösung enthielt 60,6 g K, das als sekundäres Kaliumphosphat gelöst war. Die  $\gamma$ -Intensität betrug 80 Quanten/min für die Kalium-Lösung und 1675 Quanten/min für den Zusatz des Cobalt I-Präparates. Daraus ergibt sich:

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = \frac{4340 \cdot 80}{(1675 - 41) \cdot 60,6} = 3,51 \pm 4\%$$

Die gleiche Rechnung ergibt sich für die beiden anderen Vergleichsmessungen

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = \frac{27\,700 \cdot 1,50}{(272 - 6,7) \cdot 45} = 3,49 \pm 4\%$$

$$N_{\gamma}/\text{sec g K} = \frac{1980 \cdot 1,50}{(197 - 5) \cdot 44} = 3,50 \pm 4\%$$

Bei dieser Berechnung ist bereits durch die Werte  $-41$ ;  $-6,7$ ;  $-5$  die Korrektur für die verschiedenen  $\gamma$ -Energien berücksichtigt. Die Korrekturwerte werden auf folgende Weise erhalten: Durch eine vereinfachte Mittelung erhält man als mittleren Winkel, mit dem die  $\gamma$ -Strahlen aus der Kalium-Lösung in den NaJ-Kristall des  $\gamma$ -Zählers einfallen,  $48^\circ$  gegen die Senkrechte zum Kristall. Daraus ergibt sich die mittlere Kristalldicke in Einfallsrichtung von 1,5 cm, anstatt 1 cm im Falle des senkrechten Ein-

falles aller  $\gamma$ -Quanten. Die Gesamtansprechwahrscheinlichkeit ist nach Maeder, Müller und Wintersteiger<sup>9</sup> für einen Kristall von 1,5 cm Dicke in der Einfallsrichtung für die Energie 1,46 MeV um 6,25% niedriger als bei einer Energie von 1,23 MeV, welche der mittleren Energie der beiden Cobalt- bzw. Eisen-Quanten entspricht. Demgegenüber ist die Absorption der weichereren Cobalt- bzw. Eisen-Strahlung gegenüber den  $\gamma$ -Quanten des Kaliums in der Kalium-Lösung und in der Aluminiumhülle des Multipliers (0,8 cm Al) um 3,7% größer. Die Zahl der  $\gamma$ -Quanten, die aus dem Cobalt- bzw. Eisen-Zusatz zur Kalium-Lösung stammen, muß also um 2,5% verkleinert werden. Die entsprechenden Korrekturen sind oben bereits durchgeführt.

Bei den Koinzidenzmessungen zur Bestimmung der Präparatstärken von Praseodym, Cobalt und Eisen wurde jeweils die gleiche Geometrie in der Koinzidenzanordnung benützt. Neben diesen Vergleichspräparaten wurden auch einige Koinzidenzmessungen mit Gold 198 zur Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit des  $\gamma$ -Zählers durchgeführt. Bei der gleichen Anordnung erhält man für

Au <sup>198</sup>	$E = 0,41 \text{ MeV}$	Ansprw. 1,67%
Fe <sup>59</sup>	$E = 1,20 \text{ MeV}$	Ansprw. 1,36%
Co <sup>60</sup>	$E = 1,23 \text{ MeV}$	Ansprw. 1,33%

Da der Verlauf der Ansprechwahrscheinlichkeit (vgl. Maeder et al.<sup>9</sup>) im Prinzip bekannt ist, läßt sich aus diesen drei Werten wenigstens ungefähr bis zu dem Wert 1,57 MeV<sup>8</sup> extrapolieren. Man erhält für die Ansprechwahrscheinlichkeit bei dieser Energie den Wert von 1,31%. Der für die gleichen Verhältnisse gemessene Wert  $n_{\beta\gamma}/n_{\beta}$  für das Praseodym ergibt sich zu  $6,65 \cdot 10^{-4}$  (hierin ist die Korrektur für die Schichtdicke berücksichtigt). Der Wert für das Verzweigungsverhältnis läßt sich aus folgender Formel gewinnen:

$$\alpha = \frac{n_{\beta\gamma}}{n_{\beta}} \cdot \frac{1}{\gamma\text{-Ansprw.}} = \frac{6,65 \cdot 10^{-4}}{1,31 \cdot 10^{-2}} = 5,1\%$$

was innerhalb der Fehlergrenzen mit dem benutzten Wert von 5% übereinstimmt.

Als Ergebnis für die Vergleichsmessungen erhalten wir für die Zahl der  $\gamma$ -Quanten pro g K und sec den Wert  $3,50 \pm 4\%$ , in guter Übereinstimmung mit dem erwähnten Mittelwert früherer Messungen<sup>1</sup>. Bestätigt werden hierdurch auch die 1950 in unserem Institut von Harloff<sup>10</sup> durchgeführten Messungen, bei denen mit dem Zählrohr (KCl-Mantel) ebenfalls eine  $\gamma$ -Intensität von  $3,5 \pm 0,4 \gamma/\text{g K sec}$  ermittelt wurde. Das für die Altersbestimmung maßgebende Verzweigungsverhältnis  $n_{\gamma}/n_{\beta}$  errechnet sich aus unseren Werten zu  $3,50/28,0 = 0,125$ , wobei 28,0, die Zahl der  $\beta/\text{g sec}$ , als gesichert angesehen werden

<sup>9</sup> D. Maeder, R. Müller u. V. Wintersteiger, Helv. Phys. Acta 27, 3 [1954].

<sup>10</sup> L. Harloff, Dipl.-Arbeit, Freiburg i. Br. 1950.



darf (vgl. Sawyer und Wiedenbeck<sup>11</sup>, Houtermans et al.<sup>12</sup>, Good<sup>4</sup>). Das bisher in unserem Institut zugrunde gelegte Verzweungsverhältnis von 0,119 liegt nur wenige Prozente unter dem obigen Wert. Nach den vorliegenden Messungen scheint eine Herabsetzung des Verzweungsverhältnisses, wie sie auf Grund geologischer Altersannahmen von Hayden und Wasserburg<sup>13</sup> vorgeschlagen wird, nicht gerechtfertigt\*. Eine kleinere Zahl von  $\gamma$ -Quanten für das Kalium erhalten lediglich Spiers<sup>14</sup> und Houtermans<sup>12</sup>. Spiers<sup>14</sup>, der keine Fehlergrenze für seine Bestimmung (3,0  $\gamma$ /g sec) angibt, vergleicht in der Ionisationskammer die  $\gamma$ -Strahlung des Kaliums mit der der Pechblende und des Natrium 24. Inwieweit Korrekturen bezüglich der verschiedenen  $\gamma$ -Energien durchgeführt wurden, läßt sich aus den Angaben von Spiers<sup>14</sup> nicht entnehmen. Auch Houtermans et al.<sup>12</sup> nehmen als Vergleichspräparat außer

Co<sup>60</sup> Natrium 24. Ihr größtmöglicher Wert von 3,1 + 0,3 liegt noch innerhalb unserer Fehlergrenzen. Nur die von Shillibeer et al.<sup>1a</sup> sowie Hayden und Wasserburg<sup>13</sup> gefundenen Werte befinden sich nicht in Einklang mit unseren Messungen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse der vorliegenden Intensitätsvergleiche untereinander und mit den direkten Aktivitätsbestimmungen anderer Autoren kann als recht befriedigend angesehen werden.

Herrn Professor Dr. W. Gentner sind wir für sein förderndes Interesse an dieser Arbeit und für die Zurverfügungstellung von Mitteln zu großem Dank verpflichtet. Ebenso danken wir Herrn Professor Dr. P. Jensen † und Herrn A. Mauermann im Max-Planck-Institut für Chemie (Mainz) für die Durchführung der Bestrahlung des Praseodyms, der Gewerkschaft Baden Kalisalzbergwerk, Buggingen, für die Kaliumanalysen und Herrn Prof. Dr. A. Fäßler für die röntgenspektrographische Reinheitsprüfung des Praseodyms.

<sup>11</sup> G. P. Sawyer u. M. L. Wiedenbeck, Phys. Rev. **76**, 1535 [1949]; **79**, 490 [1950].

<sup>12</sup> F. G. Houtermans, O. Haxel u. J. Heintze, Z. Phys. **128**, 657 [1950].

<sup>13</sup> R. J. Hayden u. G. J. Wasserburg, Phys. Rev. **97**, 86 [1955].

<sup>14</sup> F. W. Spiers, Nature, Lond. **165**, 356 [1950].

\* Das sich nach unserer  $\gamma$ -Aktivität ergebende Verzweungsverhältnis stimmt auch recht gut mit dem Wert von A. McNair (A. McNair, R. N. Glover u. H. W. Wilson, Phys. Rev. **99**, 771 [1955]) überein, die aus Vergleichen mit Co<sup>60</sup> und Na<sup>24</sup> einen Wert von  $\gamma_K/\beta_K = 0,124 \pm 0,002$  bzw.  $0,121 \pm 0,004$  erhalten.

## Der Isotopieeffekt bei Stromdurchgang in geschmolzenem Kaliummetall

VON ARNOLD LUNDÉN, CARL REUTERSWÄRD UND ALEX LODDING

Aus dem Institut für Physik, Chalmers Technische Hochschule, Göteborg,  
und dem Institut für Physik, Uppsala Universität, Uppsala

(Z. Naturforschg. **10 a**, 924—926 [1955]; eingegangen am 5. September 1955)

Gleichstrom der Stromdichte 2900 A/cm<sup>2</sup> wurde 14,8 Tage lang durch eine 40 cm lange Kapillare mit geschmolzenem Kalium geleitet, wodurch <sup>41</sup>K an der Kathode und <sup>39</sup>K an der Anode angereichert wurde. Der Trennfaktor zwischen Anode und Kathode war 1,12, der Masseneffekt  $\mu \geq 9 \cdot 10^{-6}$ .

Haefner<sup>1</sup> hat gezeigt, daß in flüssigem Quecksilber bei Durchleiten von Gleichstrom hoher Stromdichte ein Isotopieeffekt auftritt, wobei die schweren Isotope in der Richtung des negativen Anschlusses (Kathode) befördert werden. Einen Effekt derselben Größenordnung und Richtung haben Nief und Roth<sup>2</sup> bei Gallium gefunden. Klemm<sup>3</sup> hat eine theoretische Erklärung des Effektes gegeben. Wir haben nun festgestellt, daß dieser Effekt auch in geschmolzenem Kaliummetall vorhanden ist.

Das Gefäß (vgl. Abb. 1) aus Pyrexglas bestand aus zwei senkrechten Kapillaren (Länge 200 mm, Innendurchmesser 0,60 mm), die oben mit einem weiten Rohr verbunden waren. Die unten in den Kapillaren eingeschmolzenen Wolframdrähte dienten als Elektroden. Ein Stück möglichst oxydfreies Kaliummetall wurde in das weite Rohr eingeführt und unter Vakuum geschmolzen. Beim Schmelzen schloß das Metall, eine dünne Oxydschicht auf der Gefäßwand zurücklassend, die oberen Kapillarenden ab. Bei dem Wiederherstellen des Atmosphärendruckes von oben (mit Stickstoff) wurden dann die Kapillaren von Kalium ganz gefüllt, und man bekam Kontakt zwischen den beiden Elektroden. Das Gefäß wurde

<sup>1</sup> E. Haefner, Nature, Lond. **172**, 775 [1953].

<sup>2</sup> G. Nief u. E. Roth, C. R. Acad. Sci., Paris **239**, 162 [1954].

<sup>3</sup> A. Klemm, Z. Naturforschg. **9a**, 1031 [1954].