Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 22 (1949)
Heft: I

Artikel: Die Konversion der Gammastrahlen des In
Autor: Boehm, F. / Huber, O. / Marmier, P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-111989

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Konversion der Gammastrahlen des In^{111}

von **F. Boehm, O. Huber, P. Marmier, P. Preiswerk** und **R. Steffen.**

(15. XII. 1948.)

Summary: The coefficients of K- and L- internal conversion of In^{111} γ-rays are investigated by means of coincidence measurements. The following results have been obtained:

$E_\gamma = 173$ keV: $(N_e/N_\gamma)_K = (8{,}1 \pm 0{,}8) \cdot 10^{-2}$; $(N_e/N_\gamma)_L = (0{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-2}$

$E_\gamma = 247$ keV: $(N_e/N_\gamma)_K = (3{,}6 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-2}$; $(N_e/N_\gamma)_L = (0{,}6 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-2}$

From comparison with the theories of internal conversion the multipole orders of these γ-rays are determined. Electric quadrupole and magnetic dipole radiations are found to occur in the 173 keV transition while electric quadrupole radiation is present in the 247 keV γ-ray. Both transitions are not accompagnied by parity changes.

Einleitung.

1. Das Isotop In^{111} zerfällt mit einer Halbwertszeit von 2,7 Tagen durch K-Einfang in Cd^{111} unter sukzessiver Emission zweier γ-Quanten nach dem in Fig. 1 skizzierten Zerfallschema[1][2][3]. Die Energien der beiden γ-Strahlen, deren Reihenfolge unbekannt ist, betragen 173 und 274 keV. Lawson und Cork[1]) haben das Spektrum der Konversionselektronen dieser γ-Strahlen im magnetischen Halbkreisspektrographen gemessen und das Konversionsverhältnis zwischen K- und L-Schale, N_{e_K}/N_{e_L} angegeben, wobei N_e die Zahl der emittierten Konversionselektronen pro Zeiteinheit bezeichnet. Ihre Messung gibt aber keine Auskunft über die *absolute Grösse* der Konversion.

Zur Charakterisierung der γ-Übergänge und der damit verknüpften Spinänderungen des Kerns haben wir die Konversion näher untersucht. Nach den theoretischen Arbeiten von Dancoff und Morrison[4]), Hebb und Nelson[5]) und von Schafroth[6]) gestattet die Kenntnis des Konversionskoeffizienten α eine Aussage über den Multipolcharakter der γ-Strahlung. Ebenso wie die Grössen α_K und α_L selbst, ist (wenn auch in geringerem Masse) auch ihr Verhältnis α_K/α_L auf die Multipolordnung empfindlich. Im allgemeinen erlaubt jedoch die Kenntnis der K- oder L-Konversion allein noch keinen

eindeutigen Schluss auf die Multipolordnung, da man a priori nicht entscheiden kann, ob eine elektrische oder eine magnetische Strahlung bestimmter Ordnung vorliegt.

2. Der in experimentellen Arbeiten verwendete Konversionskoeffizient $N_e/(N_e + N_\gamma)$ wird im folgenden mit $\varkappa$ bezeichnet. (Wir haben die Bezeichnung $\varkappa$ gewählt, um Verwechslungen mit dem in theoretischen Arbeiten verwendeten Verhältnis $N_e/N_\gamma = \alpha$ zu vermeiden. Es gilt $\varkappa = \alpha/(1 + \alpha)$.) Bedeutet N die Totalzahl der pro

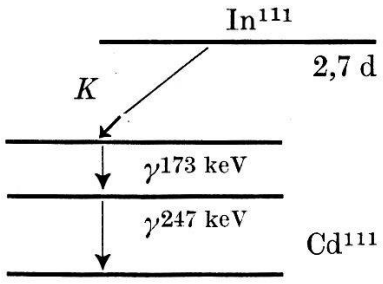


Fig. 1.
Zerfallschema von In^{111} (2,7 *d*)

Zeiteinheit zerfallenden Atome, dann ist die Zahl der Konversionselektronen $N_e = N(\varkappa_K + \varkappa_L + \ldots) = N\varkappa$, und die Zahl der nichtkonvertierten γ-Quanten je Zeiteinheit $N_\gamma = N(1-\varkappa)$. Das Verhältnis der Konversionselektronen der beiden γ-Linien, N_e^{173}/N_e^{247}, bezeichnen wir mit ϱ.

3. Beim Zerfall von In^{111} werden Röntgenquanten des K-Einfangs, γ-Quanten oder Konversionselektronen und Konversionsröntgenquanten der 173 und 247 keV-Übergänge auftreten und in geeigneten Zählrohren registriert werden. Für jedes einzelne dieser Ereignisse, z. B. für das mit a bezeichnete, gilt in einer allgemeinen Schreibweise für die im Zählrohr gemessene Stosszahl pro Zeiteinheit

$$Z_a = N f_a \varepsilon_a \omega_a \delta_1(\varkappa).$$

f_a berücksichtigt die Schwächung der Strahlung infolge Absorption in der Zählrohrwand, ε_a bedeutet die Zählrohrsensibilität, ω_a den Raumwinkel und $\delta_1(\varkappa)$ eine lineare Funktion des Konversionskoeffizienten $\varkappa$, für welche je nach Bedeutung von a die Möglichkeit gilt

$$\delta_1(\varkappa) = \begin{cases} 1 \\ 1 - \varkappa^i \\ \varkappa^i \end{cases}.$$

Der Index i bezieht sich auf die beiden γ-Übergänge von 173 und 247 keV.

Die erwähnten Einzelprozesse können auf 17 verschiedene Arten zu Koinzidenzen Anlass geben. Für jede dieser Möglichkeiten ergibt sich für die Zahl der registrierten Koinzidenzen pro Zeiteinheit bei gleichen Zählrohren

$$K_{a,b} = 2\, N\, f_a\, \varepsilon_a\, \omega_a\, f_b\, \varepsilon_b\, \omega_b\, \delta_2(\varkappa)$$

mit

$$\delta_2(\varkappa) = \begin{cases} 1 \\ \varkappa^i \\ 1 - \varkappa^i \\ \varkappa^i\, \varkappa^k \\ \varkappa^i\,(1 - \varkappa^k) \\ (1 - \varkappa^i)\,(1 - \varkappa^k)\,. \end{cases}$$

i und k $(i \neq k)$ beziehen sich auf die beiden γ-Linien von 173 und 247 keV.

Das Verhältnis

$$\frac{K_{a,b}}{Z_a} = 2\, f_b\, \varepsilon_b\, \omega_b\, \frac{\delta_2(\varkappa)}{\delta_1(\varkappa)} \tag{1}$$

liefert unter Zuhilfenahme von ϱ die absoluten Konversionskoeffizienten $\varkappa^{173}$ und $\varkappa^{247}$.

Messmethodik.

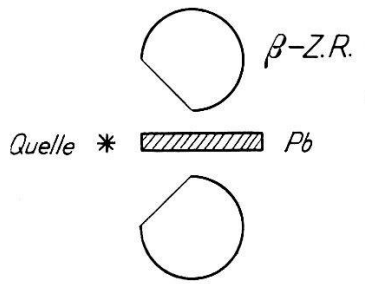
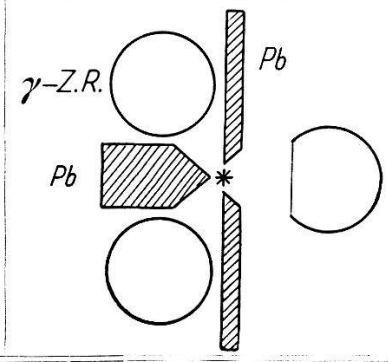
1. In^{111} wurde im Cyclotron durch Bestrahlen von Cadmiummetall mit 6,5 MeV Protonen nach der Reaktion Cd(p, n)In erzeugt und nach chemischer Abtrennung als Hydroxyd gefällt. Trägerlose Präparate für die β-Spektrographmessung wurden durch Elektrolyse gewonnen. Über die von Dr. E. Jacobi ausgearbeitete chemische Abtrennung wird in der vorangehenden Arbeit berichtet[7]).

Verschiedene bei der Cadmiumbestrahlung angeregte kurzlebige Indiumisotope sind nach einem Tag praktisch abgeklungen; ausser dem 2,7tägigen In^{111} ist nur noch das 48tägige Isotop In^{114} anwesend.

2. Die verwendeten γ-Zählrohre besitzen eine 40 μ dicke Goldkathode, wodurch eine gute Sensibilität für die zu messenden Energien erzielt wird. Die Konversionselektronen sind mit Fensterzählrohren (Folie 2 mg/cm²) registriert worden.

Für die Koinzidenzmessungen haben wir drei Standardanordnungen mit festen, reproduzierbaren Raumwinkeln benützt. Über

Grundriss und Raumwinkel dieser Messanordnung, sowie über die berechneten Grössen f_a gibt folgende Tabelle Auskunft (als (2) zitiert).

a	f_a	ε_a	$\omega_a = \Omega_a/4\pi$		
			(β,β)-Koinzidenzen	(β,γ)-Koinz.	(γ,γ)-Koinz.
					
e^{173}	0,75	1	0,031	0,049	
e^{247}	0,89	1	0,031	0,049	
γ^{173}	0,85				0,074
γ^{247}	0,94				0,074

Der verwendete Koinzidenzverstärker hatte ein Auflösungsvermögen von $\tau = 2{,}4 \cdot 10^{-7}$ Sek.

Messergebnisse.

1. *Konversionsverhältnis* $\varkappa^{173}/\varkappa^{247}$. Die Konversionslinien sind im magnetischen Linsen-Spektrographen[8]) gemessen worden (Fig. 2). Für das Verhältnis der Elektronen der beiden γ-Linien (Summe der K- und L-Konversion) haben wir durch Ausplanimetrieren der durch $H\varrho$ dividierten Kurven gefunden:

$$\frac{N_K^{173}+N_L^{173}}{N_K^{247}+N_L^{247}} = \frac{\varkappa^{173}}{\varkappa^{247}} = \underline{2{,}1 \pm 0{,}1}\,. \tag{3}$$

Das der Arbeit von Lawson und Cork entnommene Verhältnis $\varkappa^{173}/\varkappa^{247}$ ist um zirka 40% kleiner als der hier angegebene Wert.

2. *Koinzidenzen zwischen Konversionselektronen.* Absorptionskurven der Einzelstösse und Koinzidenzen in Aluminium wurden in der (β,β)-Anordnung an 4 Präparaten gemessen. Fig. 3 veranschaulicht eine dieser Messungen. Nach Abzug des einen Monat später kontrollierten Anteils von In^{114} gewinnt man die Absorptionskurve von

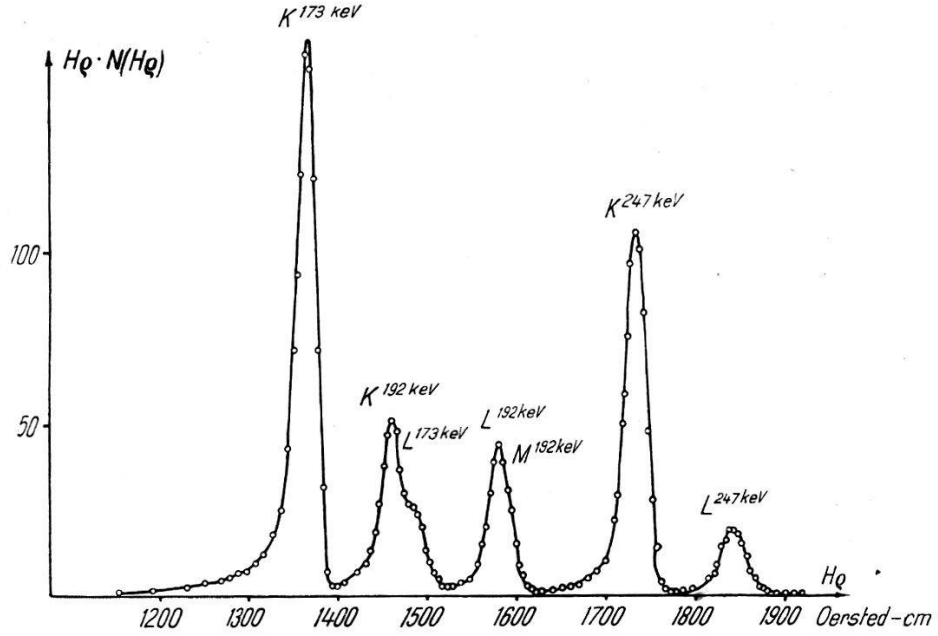


Fig. 2.

Konversionselektronen von In^{111} und In^{114} im magnetischen Linsenspektrographen.

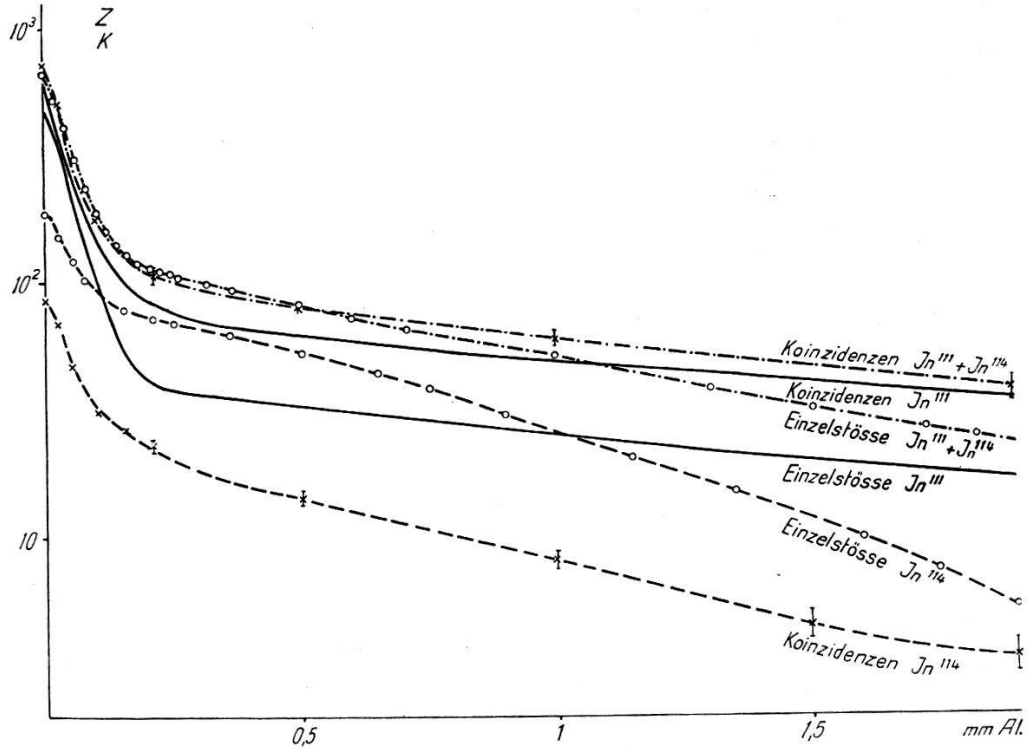


Fig. 3.

Absorptionskurven von In^{111} (2,7 *d*) und In^{114} (48 *d*) in Aluminium. (Ordinate: *Z* und *K* in willkürlichen Einheiten.)

In^{111}. Durch Zerlegen auf graphischem Wege kann hieraus der Anteil der (e, e)-Koinzidenzen gefunden werden. (Dabei ist bei der Subtraktion der (e, γ)- und der (e, K)-Koinzidenzen der Permutationsfaktor 2 in Rechnung zu setzen.) Man findet so für das Verhältnis von Koinzidenzen zu Einzelstössen der Konversionselektronen

$$K_e^{173}, e^{247}/(Z_e^{173} + Z_e^{247}) = (1{,}25 \pm 0{,}05) \cdot 10^{-3}.$$

Die Beziehung (1) lautet für dieses Verhältnis:

$$\frac{K_e^{173}, e^{247}}{Z_e^{173} + Z_e^{247}} = \frac{2 f_e^{173} f_e^{247} \omega_e \varkappa^{173} \varkappa^{247}}{f_e^{173} \varkappa^{173} + f_e^{247} \varkappa^{247}}.$$

Mit (2) und (3) errechnen sich daraus die Konversionskoeffizienten zu:

$$\underline{\varkappa^{173} = (7{,}4 \pm 1) \cdot 10^{-2}}$$

$$\underline{\varkappa^{247} = (3{,}5 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-2}}.$$

3. *Koinzidenzen zwischen Konversionselektronen und γ-Strahlen.* Die Konversionskoeffizienten lassen sich auch durch (e, γ)-Koinzidenzen bestimmen. Koinzidenzmessungen mit einem Fenster- und einem Goldzählrohr liefern nach Abzug des 48tägigen Anteils von In^{114} und nach Subtraktion der (γ, γ)- und (γ, K)-Koinzidenzen (Kohleabsorber vor β-Zählrohr) die Zahlenwerte

$$\frac{K_e^{173}, \gamma^{247} + K_e^{247}, \gamma^{173}}{Z_\gamma^{173} + Z_\gamma^{247}} = (0{,}22 \pm 0{,}02) \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{K_e^{173}, \gamma^{247} + K_e^{247}, \gamma^{173}}{Z_e^{173} + Z_e^{247}} = (0{,}46 \pm 0{,}02) \cdot 10^{-3}.$$

Für den ersten Fall lautet die Beziehung (1)

$$\frac{K_e^{173}, \gamma^{247} + K_e^{247}, \gamma^{173}}{Z_\gamma^{173} + Z_\gamma^{247}} = \frac{\omega_e \left[f_e^{173} f_\gamma^{247} \varkappa^{173} (1 - \varkappa^{247}) + f_e^{247} f_\gamma^{173} \varkappa^{247} (1 - \varkappa^{173})\right]}{f_\gamma^{173} \varepsilon^{173} (1 - \varkappa^{173}) + f_\gamma^{247} \varepsilon^{247} (1 - \varkappa^{247})}.$$

Zusammen mit (2) und (3) und mit $\varepsilon^{173}/\varepsilon^{247} = 1{,}2$[2]) erhalten wir für die Konversionskoeffizienten

$$\underline{\varkappa^{173} = (7{,}6 \pm 0{,}8) \cdot 10^{-2}}$$

$$\underline{\varkappa^{247} = (3{,}6 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-2}}.$$

Entsprechend liefert das Verhältnis

$$(K_e^{173}, \gamma^{247} + K_e^{247}, \gamma^{173})/(Z_e^{173} + Z_e^{247})$$

unter Benützung der gefundenen Konversionskoeffizienten die Ansprechwahrscheinlichkeiten für die Goldzählrohre

$$\varepsilon^{173} = (7{,}7 \pm 0{,}8) \cdot 10^{-3}$$
$$\varepsilon^{247} = (6{,}4 \pm 0{,}6) \cdot 10^{-3}$$

Die beiden Messungen liefern also für die Konversionskoeffizienten innerhalb der Fehlergrenze übereinstimmende Resultate.

4. *Koinzidenzen zwischen Gammastrahlen.* Die (γ, γ)-Koinzidenzmessungen liefern unabhängig vom obigen Resultat nochmals die Zählrohrsensibilität. Aus dem gemessenen Verhältnis

$$\frac{K_{\gamma^{173}, \gamma^{247}}}{Z_{\gamma^{173}} + Z_{\gamma^{247}}} = (0{,}47 \pm 0{,}04) \cdot 10^{-3}$$

und der Relation

$$\frac{K_{\gamma^{173}, \gamma^{247}}}{Z_{\gamma^{173}} + Z_{\gamma^{247}}} = \frac{2 f_{\gamma^{173}} f_{\gamma^{247}} \omega_\gamma \varepsilon^{173} \varepsilon^{247} (1 - \varkappa^{173}) (1 - \varkappa^{247})}{f_{\gamma^{173}} \varepsilon^{173} (1 - \varkappa^{173}) + f_{\gamma^{247}} \varepsilon^{247} (1 - \varkappa^{247})}$$

finden wir zusammen mit (2), (3) und $\varepsilon^{173}/\varepsilon^{247} = 1{,}2$ unter Verwendung der oben bestimmten Koeffizienten $\varkappa$ die Ansprechwahrscheinlichkeiten der Goldzählrohre

$$\varepsilon^{173} = (8{,}2 \pm 0{,}7) \cdot 10^{-3}$$
$$\varepsilon^{247} = (6{,}8 \pm 0{,}7) \cdot 10^{-3}$$

in befriedigender Übereinstimmung mit dem im vorhergehenden Abschnitt gefundenen Wert.

Die Mittelwerte der gefundenen Konversionskoeffizienten unter Berücksichtigung des dem Spektrogramm entnommenen prozentualen Anteils der einzelnen Schalen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

	$\varkappa$	α	α_K	α_L	α_K/α_L
173 keV	$7{,}5 \pm 0{,}8\%$	$8{,}1 \pm 0{,}8\%$	$7{,}1 \pm 0{,}8\%$	$0{,}9 \pm 0{,}1\%$	8 ± 2
247 keV	$3{,}5 \pm 0{,}5\%$	$3{,}6 \pm 0{,}5\%$	$3{,}0 \pm 0{,}5\%$	$0{,}6 \pm 0{,}1\%$	5 ± 1

Diskussion.

Die Konversion einer elektrischen 2^l-Pol-Strahlung in Anwesenheit von 2 K-Elektronen ist von Dancoff und Morrison[4]) berechnet worden. Die Formeln dieser Autoren unterliegen der Einschränkung $h\nu \ll mc^2$ und $Ze^2/hc \ll 1$ und dürfen für einen Cadmiumkern ($h\nu/mc^2 = 0{,}34$ bzw. $0{,}49$; $Ze^2/hc = 0{,}35$) im Sinne eines Grenzfalles noch als geltend angesehen werden.

Mit mehr Vorbehalt ist die relativistische Formel für magnetische Multipolstrahlung wegen der Zusatzbedingung $Ze^2/h\nu \ll 1$ anzuwenden. Wir haben uns daher einer von SCHAFROTH[5]) errechneten Formel bedient, für welche die Bedingung über die Kernladung zu $(Ze^2/hc)^2 \ll 1$ gelockert ist. Durch Mitberücksichtigung der L-Konversion gemäss den Rechnungen von HEBB und NELSON[5]) erhalten wir eine Kontrolle über die Zuordnung von Konversionskoeffizient und Multipolordnung.

In der folgenden Tabelle sind die für kleine l errechneten Konversionskoeffizienten zusammengestellt.

		gemessen	berechnet			
				$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$
173 keV	K-Konversion α_K	$(7{,}1 \pm 0{,}8)\%$	DANCOFF-MORRISON elektrischer 2^l-Pol	2,7%	14,3%	62%
			SCHAFROTH magnetischer 2^l-Pol	0,5%	2,3%	13,2%
	L-Konversion $\frac{\alpha_K}{\alpha_L}$	$8{,}0 \pm 2$	HEBB-NELSON elektrischer 2^l-Pol	7,9	5,7	2,7
			HEBB-NELSON magnetischer 2^l-Pol	7	6,5	5,4
247 keV	K-Konversion α_K	$(3{,}0 \pm 0{,}5)\%$	DANCOFF-MORRISON elektrischer 2^l-Pol	0,9%	3,6%	11,9%
			SCHAFROTH magnetischer 2^l-Pol		1%	3%
	L-Konversion $\frac{\alpha_K}{\alpha_L}$	$5{,}5 \pm 1$	HEBB-NELSON elektrischer 2^l-Pol	7,9	6,4	3,9
			HEBB-NELSON magnetischer 2^l-Pol	7,3	6,9	6,1

Für einen Oktupolübergang berechnet sich die Lebensdauer für die in Frage stehenden Energien zu 10^{-1} bis 10^{-2} Sekunden[9]). Da aber solche Niveaux nicht mehr zu Koinzidenzen Anlass geben können, müssen wir beim Vergleich der experimentellen Befunde mit den berechneten Konversionskoeffizienten Oktupolstrahlung zum vornherein ausschliessen.

In bezug auf die totale Spinänderung des Kernes gelten für einen elektrischen Quadrupolübergang die Auswahlregeln $\Delta J = \pm 2$, ± 1, 0 und die Erhaltung der Parität. Dasselbe Paritätsverhalten zeigt ein magnetischer Dipolübergang mit $\Delta J = \pm 1$, 0. Im Falle eines elektrischen Dipol- und eines magnetischen Quadrupolüberganges besteht hingegen die Forderung der Paritätsänderung.

Die experimentellen Ergebnisse zusammen mit diesen Auswahlregeln sprechen für folgende Charakterisierung der beiden γ-Strahlungen: Beim 173 keV-Übergang handelt es sich offenbar um eine Mischung von elektrischer Quadrupol und magnetischer Dipolstrahlung zu etwa gleichen Anteilen. Die damit verknüpfte Spinänderung beträgt ± 1 oder 0. Dagegen scheint beim 247 keV-Übergang ein beinahe reiner elektrischer Quadrupolstrahler mit einer Spinänderung von ± 2 oder ± 1 oder 0 vorzuliegen. Die Parität bleibt bei beiden Übergängen erhalten.

Herrn Prof. Dr. Scherrer sind wir für das Interesse an dieser Arbeit zu Dank verpflichtet.

Literatur.

1) Lawson und Cork, Phys. Rev. **57**, 982 (1940).
2) Bradt, Gugelot, Huber, Medicus, Preiswerk und Scherrer, H.P.A. **19**, 77 (1946).
3) Tendam und Bradt, Phys. Rev. **72**, 1118 (1947).
4) Dancoff und Morrison, Phys. Rev. **55**, 122 (1939).
5) Hebb und Nelson, Phys. Rev. **58**, 486 (1940).
6) Schafroth, H. P. A. **21**, 499 (1948).
7) Jacobi, H. P. A. **22**, 66 (1949).
8) Zünti, H. P. A. **21**, 179 (1948).
9) Helmholz, Phys. Rev. **60**, 415 (1941).