

und 3 – 4 viel zu groß (Abb. 11). Das bedeutet aber keine Diskrepanz, sondern läßt sich leicht dadurch erklären, daß die drei Übergangsfrequenzen recht dicht zusammenfallen (vgl. Abb. 3) und jeweils alle drei Übergänge mehr oder weniger gleichzeitig angeregt werden. Aus diesem Grunde beobachtet man hier praktisch immer dynamische Kernpolarisation, wenn man irgendeine Hochfrequenz unter etwa 15 MHz einstrahlt. Je kleiner die Feldwerte, desto weniger sind die Maxima ausgeprägt.

Für  $H_0 = 19,53$  Oersted fallen die elektronischen Frequenzen 3 – 4 und 4 – 5 zusammen. Da die Protonenpolarisationen bei Sättigung dieser Resonanzen

verschiedenes Vorzeichen haben, zeigen die Kurven Ausbuchtungen in Richtung geringerer Polarisation. Das stimmt qualitativ mit (29) und (30) überein, wenn auch die Theorie nichts über den Bereich dieser Abweichungen vom regelmäßigen Verlauf aussagen kann. Deshalb wurden die theoretischen Kurven nur gestrichelt gezeichnet.

Meinem Mitarbeiter, Herrn P. PARIKH, möchte ich für seine Hilfe beim Aufbau des Apparates und bei einigen Messungen sowie für viele wertvolle Diskussionen aufrichtig danken. Herrn Radio- und Fernsehtechnikermeister J. HOFMANN danke ich für den Aufbau und die jeweilige Anpassung und Abstimmung der Hochfrequenzgeneratoren während der Experimente.

## Zum Konversionslinienspektrum von $\text{Po}^{214}(\text{RaC})^+$

Von G. LÜHRS und C. MAYER-BÖRICKE

Aus dem Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg  
(Z. Naturforschg. 15 a, 939–949 [1960]; eingegangen am 23. Juli 1960)

The conversion line spectrum of  $\text{Po}^{214}$  has been measured with a double focussing  $\beta$ -spectrometer in the region from 2600 to 13 500 Gauß·cm (Rn<sup>222</sup>-source). The energy and absolute intensity of about 60 conversion lines—among these a number of hitherto unknown lines—has been determined.

In about 20 cases the absolute conversion coefficients of  $\gamma$ -transitions have been determined and compared with the tables of SLIV and BAND and/or Rose to find out multipolarities. In some cases the K/L-ratios could also be measured and the results agree well with the conclusions drawn from the interpretation of the absolute conversion coefficients.

A tentative decay scheme for the decay  $\text{Bi}^{214} - \text{Po}^{214}$  has been established using the information about conversion lines and all other known data concerning this decay.

The endpoint energy of the RaC  $\beta$ -spectrum was found to be  $(3275 \pm 15)$  keV.

$\text{Bi}^{214}(\text{RaC})$  zerfällt mit einer Halbwertzeit von 19,7 min<sup>1</sup> fast ausschließlich durch  $\beta$ -Übergang in  $\text{Po}^{214}(\text{RaC}')$ . Dabei führen etwa 80%<sup>2</sup> der  $\beta$ -Zerfälle in verschiedene angeregte Niveaus des Tochterkerns und geben so Anlaß zu einem linienreichen  $\gamma$ -Spektrum<sup>3</sup> und zu einem entsprechend komplizierteren Konversionslinienspektrum.

Eine genaue Energiebestimmung von vielen dieser Konversionslinien erfolgte u. a. durch MLADJENOVIC und SLÄTIS<sup>4</sup> mit einem hochauflösenden 180°-Magnetspektrometer. Bei dieser und bei anderen Messungen<sup>5</sup> wurde das Spektrum mit photographischen Platten registriert. Die photometrisch bestimmten Intensitäten der Konversionslinien sind daher recht unsicher<sup>4</sup>.

Genauere Intensitätsbestimmungen sind möglich, wenn man an Stelle der photographischen Nachweismethode eine Zählmethode benutzt. Messungen dieser Art<sup>5</sup> haben bis jetzt nur wenige der in (II) angegebenen Linien bestätigen können. Außerdem sind in diesen Fällen die Intensitätsangaben durch statistische Fehler meist noch so unsicher, daß z. B. keine zuverlässigen K/L-Intensitätsverhältnisse bestimmt werden konnten, die man sinnvoll zu einem Vergleich mit der Theorie hätte heranziehen können. Wir haben uns deshalb, im Anschluß an eine vorangehende Arbeit<sup>6</sup>, zu einer Neuvermessung des Konversionslinienspektrums unter Benutzung einer Zählmethode entschlossen und dabei besonderen Wert auf möglichst kleinen statistischen Fehler der Meß-

<sup>1</sup> Vorgetragen auf der Physikertagung in Heidelberg am 28. 4. 1960; vgl. Phys. Verhandl. 11, 66 [1960].

<sup>2</sup> Vgl. z. B. J. M. HOLLANDER, I. PERLMAN u. G. T. SEABORG, Rev. Mod. Phys. 25, 409 [1953].

<sup>3</sup> H. DANIEL u. R. NIERHAUS, Z. Naturforschg. 11 a, 212 [1956].

<sup>4</sup> C. MAYER-BÖRICKE, Z. Naturforschg. 14 a, 609 [1959]. Diese Arbeit wird im folgenden als (I) zitiert.

<sup>4</sup> M. MLADJENOVIC u. H. SLÄTIS, Ark. Fys. 8, 65 [1954]. Diese Arbeit wird im folgenden als (II) zitiert.

<sup>5</sup> Ausführliche Literaturzitate sind in (I), Tab. 2, angegeben.

<sup>6</sup> C. MAYER-BÖRICKE u. G. LÜHRS, Z. Naturforschg. 15 a, 103 [1960]. Bei der in dieser Arbeit in Abb. 2 mit 3968 Gauß·cm bezeichneten Linie liegt ein Beschriftungsfehler vor; der richtige  $B_Q$ -Wert ist 3982 Gauß·cm.



punkte gelegt. Nur so kann man hoffen, die vielen Konversionslinien von RaC', die meist als sehr schwach ausgeprägte Struktur dem intensiven  $\beta$ -Kontinuum von RaC überlagert sind, noch analysieren zu können.

Ziel unserer Untersuchungen war es, die absoluten Intensitäten der Konversionslinien zu messen, um mit diesen die Konversionskoeffizienten zu bestimmen. Aus K-Konversionskoeffizienten und K/L-Konversionsverhältnissen sollten dann durch Vergleich mit der Theorie Aussagen über die Multipolcharaktere der einzelnen Übergänge in Po<sup>214</sup> gewonnen werden.

Die Messungen wurden mit einem doppelfokussierenden  $\beta$ -Spektrometer durchgeführt. Als Quellen

dienten dünnwandige Glasampullen von 6–10  $\mu$  Wandstärke, die jeweils mit etwa 10 mC Ra-Em gefüllt waren. Einzelheiten über Quellen, Versuchsanordnung, statistische Genauigkeit, Linienbreite und Korrekturen bei der Auswertung der Meßkurven sind bereits in der vorangegangenen Arbeit<sup>6</sup> angegeben.

## Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 1–4 ist eine auf den zeitlichen Abfall des Präparates korrigierte typische Meßkurve dargestellt. Auf den Abbildungen ist das  $\beta$ -Kontinuum von Ra(B+C) als durchgehende glatte Kurve ein-

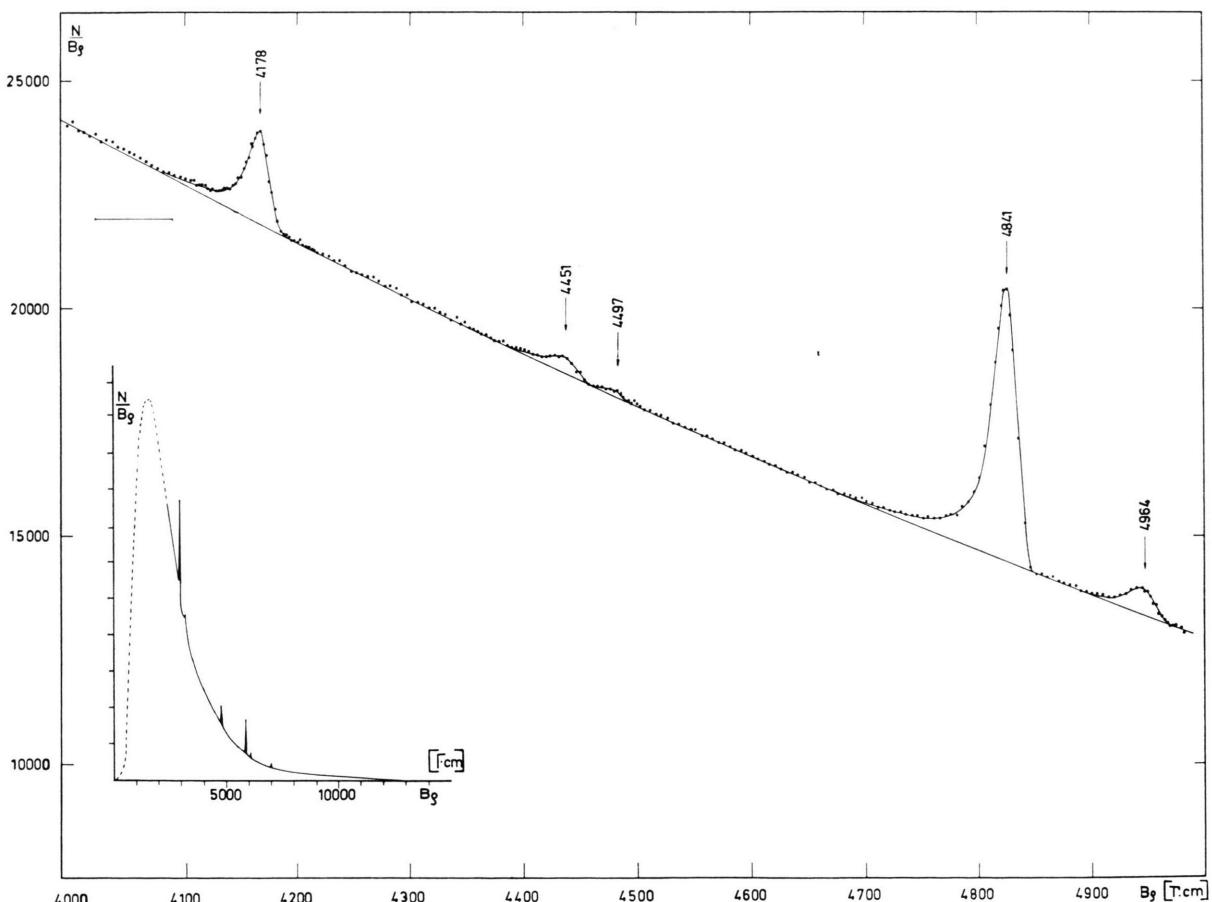


Abb. 1. Ausschnitt aus dem  $\beta$ -Spektrum einer Rn<sup>222</sup>-Quelle im Bereich von 4000–5000 Gauß·cm. Mit eingezeichnet ist eine vereinfachte Darstellung des  $\beta$ -Gesamtspektrums einer Rn<sup>222</sup>-Quelle. Die außerordentlich starken Konversionslinien unterhalb 2600 Gauß·cm wurden der besseren Übersichtlichkeit wegen fortgelassen. Der ausgezogene Kurventeil bezeichnet das Gebiet der vorliegenden Messung. Auf eine genauere zeichnerische Wiedergabe des Meßbereichs 2600–4000 Gauß·cm — entsprechend Abb. 1 bis 4 — haben wir verzichtet, da eine etwa gleichwertige Meßkurve bereits in unserer vorangegangenen Arbeit<sup>6</sup> veröffentlicht wurde

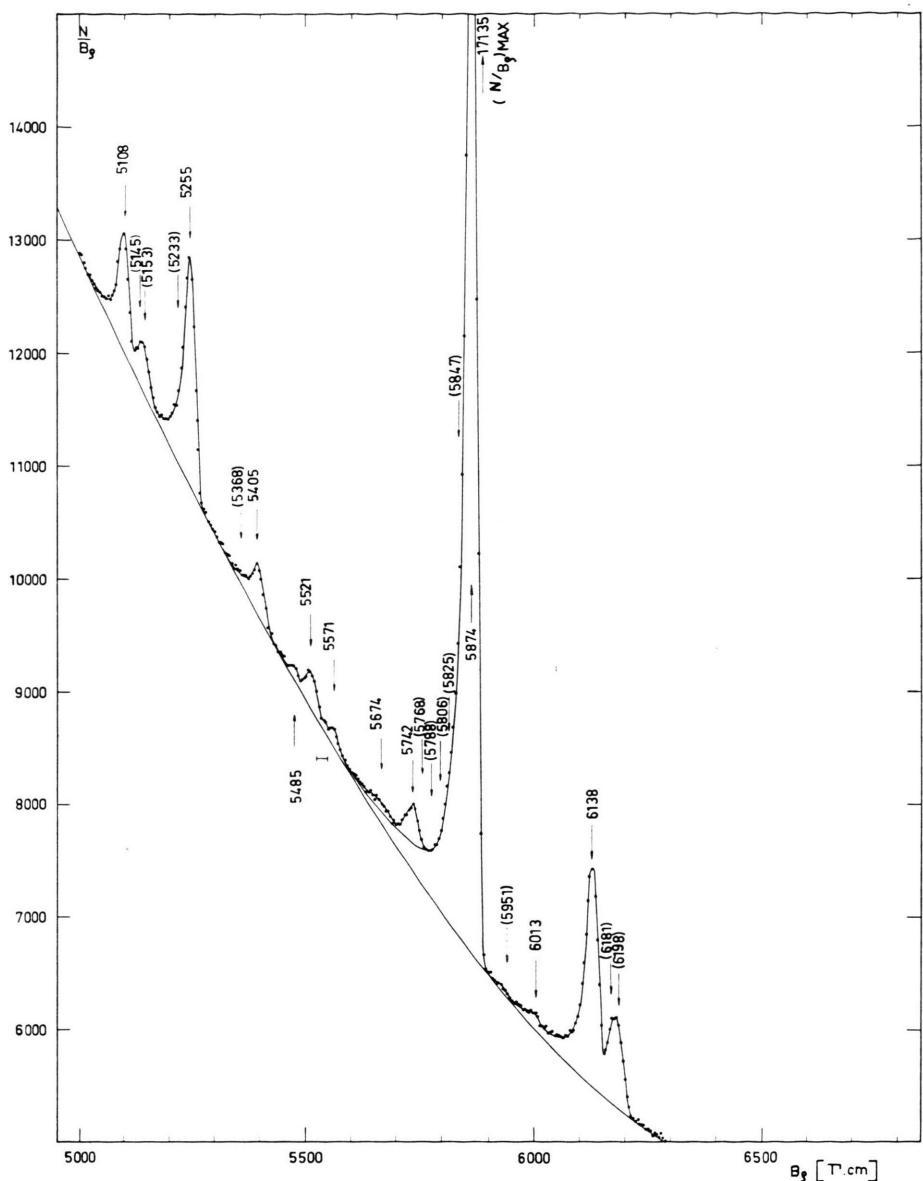


Abb. 2. Ausschnitt aus dem  $\beta$ -Spektrum einer  $\text{Rn}^{222}$ -Quelle im Bereich von 5000–6300 Gauß·cm.

gezeichnet<sup>7</sup>. Der Nullpunkt der Ordinate, deren Maßstab in willkürlichen Einheiten angegeben ist, ist bei den einzelnen Abbildungen z. Tl. stark unterdrückt. Der einfache statistische Fehler ist jeweils eingezeichnet. In Abb. 1 ist eine vereinfachte Übersicht über das Gesamtspektrum mit aufgenommen.

Der ebenfalls vermessene Bereich von 2600 bis 4000 Gauß·cm zeigte bis auf kleine Ergänzungen, dieselben Linien, die bereits in unserer vorangegangenen Arbeit gefunden worden waren (vgl. Anm.<sup>6</sup> Abb. 2 und 3). Wir haben daher auf eine genaue Darstellung dieses Meßbereiches — entsprechend

<sup>7</sup> Die Endpunktenergie des  $\text{RaB}$   $\beta$ -Kontinuums beträgt 1,03 MeV entsprechend 4850 Gauß·cm; E. E. BERLOVICH,

Izv. Akad. Nauk, USSR, Ser. Fiz. **16**, 314 [1952]; H. DANIEL, Z. Naturforschg. **11a**, 759 [1956].

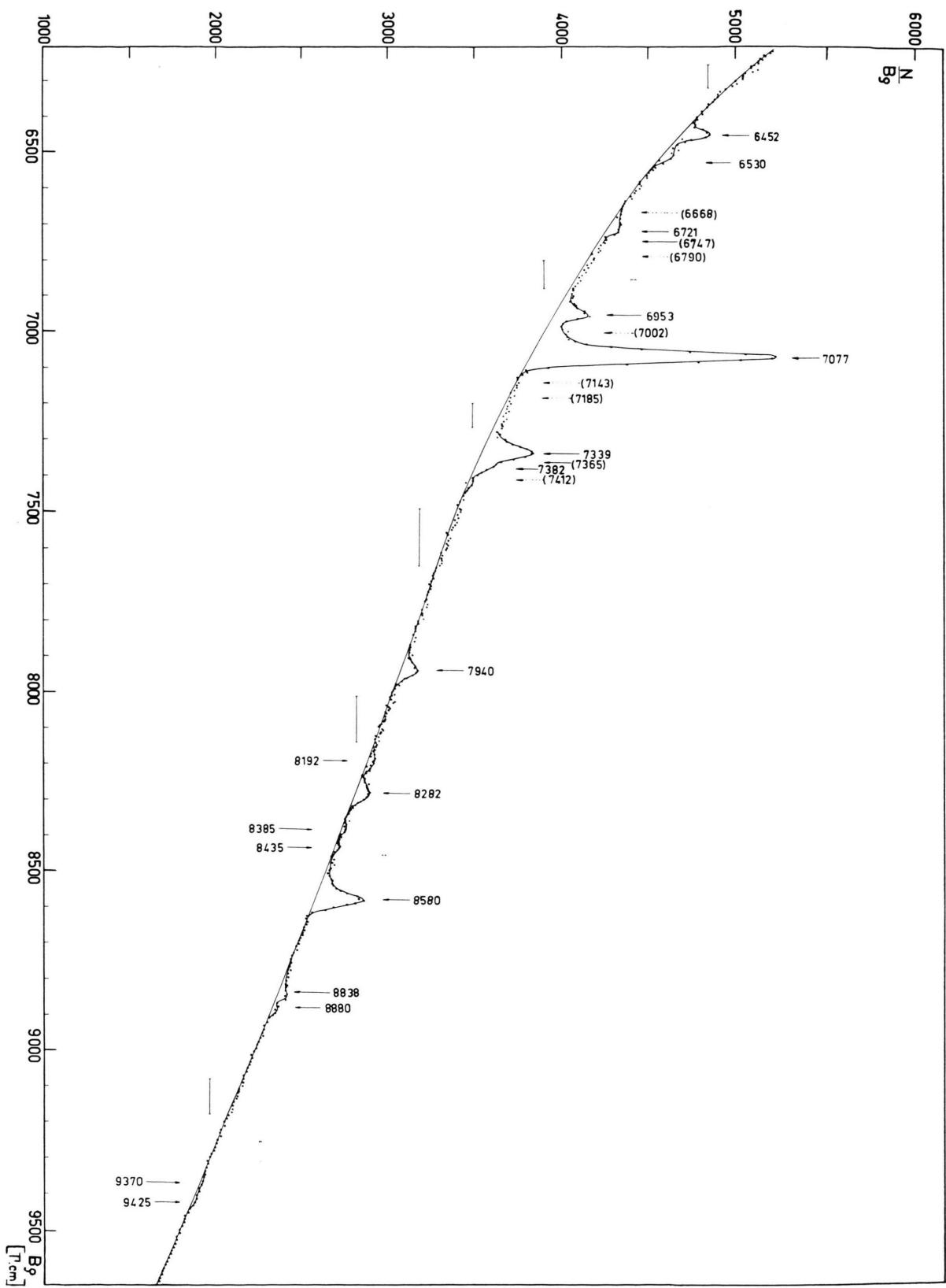


Abb. 3. Ausschnitt aus dem  $\beta$ -Spektrum einer  $\text{Rn}^{222}$ -Quelle im Bereich von 6200–9600 Gauß·cm.

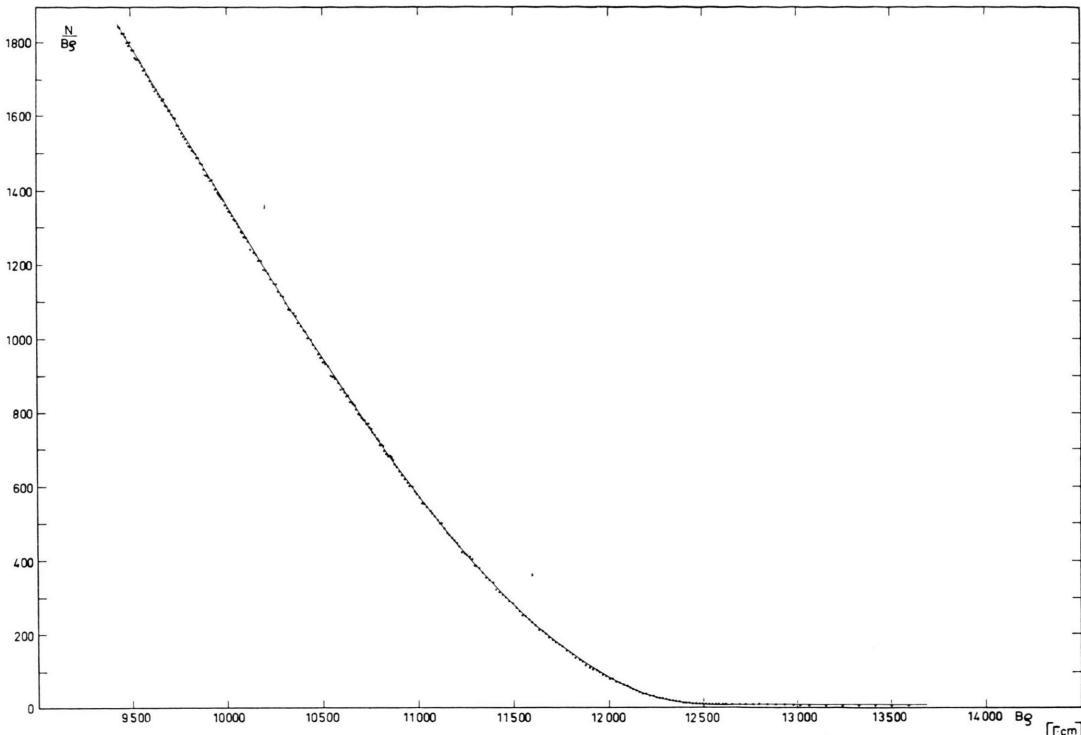


Abb. 4. Ausschnitt aus dem  $\beta$ -Spektrum einer  $\text{Rn}^{222}$ -Quelle im Bereich von  $9500-13500 \text{ Gauß} \cdot \text{cm}$ .

Abb. 1 bis 4 — verzichtet. Die Ergänzungen beziehen sich auf die in Tab. 1 angegebenen Linien bei 2685, 3520 und 3958  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$ .

Zur Energieeichung wurden die starken Linien bei 2973,7 und 5874,4  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$  von  $\text{RaC}'^4$  und die Linie bei 9986,7  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$  von  $\text{ThD}^8$  benutzt.

Die Pfeile oberhalb der Meßkurve geben die Lage der von MLADJENOVIC und SLATIS<sup>4</sup> mit der bereits erwähnten hochauflösenden photographischen Methode gefundenen Linien an. Die in unseren Messungen nicht aufgelösten Linien sind durch Klammerung der von diesen Autoren übernommenen  $B\varrho$ -Werte gekennzeichnet. Linien, die überdies durch gestrichelte Pfeile bezeichnet sind, wurden von uns nicht bzw. nicht mit Sicherheit gefunden, obwohl dies auf Grund ihrer isolierten Lage im Spektrum und der Angaben in (II) hätte erwartet werden können.

Die von unten kommenden Pfeile markieren bisher unbekannte Linien, die von uns in mehreren Messungen gefunden wurden. Unterhalb der Kurve sind außerdem noch einige durch waagerechte Striche gekennzeichnete Gebiete angegeben, in denen

wir noch weitere sehr intensitätsschwache Konversionslinien vermuten.

Abb. 2 gibt das Gebiet der Meßkurve wieder, in dem die Konversionslinien des total konvertierten 1416-keV-Übergangs von  $\text{Po}^{214}$  liegen. Die starke K-Konversionslinie dieses Übergangs (5874,4  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$ ) diente als Eichlinie bei der Festlegung der relativen Intensitäten der einzelnen Linien des Spektrums. Ihre absolute Intensität wurde von uns zu  $(3,19 \pm 0,48) \text{ \%}$  pro Zerfall  $\text{RaC}$  bestimmt. Für diese Intensitätsbestimmung wurden auch ergänzende Messungen im Bereich von 900 bis 2600  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$  vorgenommen. Der relativ große Intensitätsfehler von  $0,48\text{\%}$  entsteht z. Tl. durch eine Berücksichtigung der von uns nicht aufgelösten Konversionslinien im Gebiet von 5768 bis 5847  $\text{Gauß} \cdot \text{cm}$ . Die Intensität dieser Linien ist jedoch, sofern sie überhaupt existieren, wesentlich kleiner als von MLADJENOVIC und SLATIS (II) angegeben.

Abb. 4 gibt das Ende des kontinuierlichen  $\beta$ -Spektrums von  $\text{RaC}$  wieder. Konversionslinien, die in diesem Energiegebiet liegen sollten<sup>9</sup>, müssen eine außerordentlich kleine Intensität haben, da sie

<sup>4</sup> G. LINDSTRÖM, Phys. Rev. **87**, 687 [1952].

<sup>9</sup> C. D. ELLIS, Proc. Roy. Soc., Lond. A **143**, 350 [1934].

$B_Q$ (Gauß · cm)		Relative Intensität		Inter- pretation	$E_\gamma$ (keV)		Bemerkungen
nach (II)	diese Messung	nach (II)	diese Messung		nach (II)	diese Messung	
—	2685 ± 5	—	1,20 ± 0,16	K (RaC)	609,3	532,9 ± 1,3	
2973,65		30	45,0 ± 1,5	K	660,9		nicht gefunden
3136,79		2	—				nicht mit Sicher- heit gefunden
3167,80		2	≤ 0,3	K			
—	3188 ± 10	—	0,47 ± 0,17	K		665,8 ± 2,6	
3261,79		6		L <sub>I</sub>			
3264,40		4	12,4 ± 0,3	L <sub>II</sub>	609,3		nicht aufgelöst
3273,22		2		L <sub>III</sub>			
3311,04		2,7	≈ 3,9	M	609,3		
3321,05		2,2	≈ 1,2	N	609,3		nicht aufgelöst
3328,15		1,6	5,1 ± 0,15	K	703,2		
—	3395 ± 5	—	0,47 ± 0,17	K	—	720,9 ± 1,4	
—	3520 ± 10	—	≤ 0,1	K	—	754,3 ± 2,7	?
3572,41		5,1	3,74 ± 0,14	K	768,7		
3613,51		0,9	0,27 ± 0,10	L	703,6		
3639,90		1	0,67 ± 0,10	K (RaC)	777,2		
3710,37		2,3	0,70 ± 0,10	K	787,1		
3765,4		1,3	0,33 ± 0,10	K	806,3		
—	3782 ± 10	—	0,27 ± 0,10	K	821,3		
3853,58		1,3	0,92 ± 0,07	L	768,7		
3898,96		0,7	0,39 ± 0,10	M	768,7		
—	3920 ± 10	—	≤ 0,16	L	—	787,3 ± 2,8	?
—	3958 ± 10	—	≈ 0,2	K	—	874,0 ± 2,8	(?)
—	3982 ± 10	—	≈ 0,2	L	—	804,4 ± 2,8	(?)
4177,65		4,5	3,84 ± 0,07	K	934,8		
4450,80		1,4	0,72 ± 0,07	L	934,8		
4497,07		0,8	0,25 ± 0,10	M	934,8		
4840,55		12,6	12,37 ± 0,2	K	1120,4		
4963,50		2,6	1,17 ± 0,10	K	1155,4		
5108,27		3	2,06 ± 0,10	L	1120,4		
5145,16		1,0	0,90 ± 0,06	K	1207,1		
5152,61		1,4	0,90 ± 0,06	M	1120,4		nicht aufgelöst
5233,04		0,5	14,7	L	1155,4		nicht aufgelöst
5254,93		5	≈ 4,3 ± 0,3	K	1238,3		
5368,27		0,7	≈ 0,13	K	1270,7		nicht gefunden
5404,74		1,4	0,99 ± 0,07	K	1281,3		
—	5485 ± 5	—	0,22 ± 0,07	K?	—	1303,9 ± 1,5	
5521,10		1,5	0,70 ± 0,07	L	1238,3		
5570,74		0,6	0,34 ± 0,01	M	1238,3		
5674,45		0,4	0,18 ± 0,10	L	1281,3		

Tab. 1. Zusammenstellung und Interpretation der Meßergebnisse am Konversionslinienspektrum von RaC' ( $Po^{214}$ ). Die absoluten Konversionsintensitäten erhält man aus den relativen Intensitäten unter Berücksichtigung der von uns bestimmten absoluten Intensität der Linie 5874,4 Gauß · cm. Bei den in Spalte 6 angegebenen Energiewerten nach (II) handelt es sich um dort angegebene Energiedurchschnitte, falls K, L- und gegebenenfalls auch M-Konversionslinien gefunden wurden.

bei unseren Messungen nicht festgestellt werden konnten. Die Endpunktenergie des  $\beta$ -Kontinuums von RaC ergab sich aus der FERMI-KURIE-Darstellung von mehreren Meßkurven in guter Übereinstimmung mit DANIEL und NIERHAUS<sup>2,10</sup> zu  $(3275 \pm 15)$  keV.

<sup>10</sup> In dieser Arbeit sind auch die Resultate älterer Messungen zusammengestellt; s. a. ALICHANOW u. M. S. KOSADEEV, Z. Phys. **90**, 249 [1934] (3250 keV).

Die Ergebnisse unserer Messungen an den Konversionslinien von RaC und RaC' sind in Tab. 1 zusammengefaßt, in der auch die Daten nach (II) mit aufgenommen sind. Insgesamt wurden oberhalb 2600 Gauß · cm etwa 60 Konversionslinien gefunden, darunter 14 neue. Die neuen Linien sind meist sehr intensitätsschwach und konnten daher wohl bei den bisherigen Messungen noch nicht gefunden werden; bei einigen erscheint jedoch eine Zuordnung zu

$B_Q$ (Gauß · cm)		Relative Intensität		Interpretation	$E_\gamma$ (keV)		Bemerkungen
nach (II)	diese Messung	nach (II)	diese Messung		nach (II)	diese Messung	
5741,70		1,3	$0,79 \pm 0,15$	K	1378,2		nicht aufgelöst. Intensitäten wahrscheinlich wesentlich kleiner als nach (II) *
5768,12	0,8						
5788,07	0,8						
5805,79	1,4						
5824,95	1,4						
5846,98	1,1						
5874,4	25	25,00		K	1415,9		
5951,10	1	$\leq 0,12$		K	1438,0		nicht mit Sicherheit gefunden
6012,51	0,5	$0,20 \pm 0,10$		L	1378,2		
6138,4	4,9	$4,76 \pm 0,20$		L	1415,9		
6181,12	1,4	$\left. \begin{array}{l} 2,33 \pm 0,10 \\ 1,5 \end{array} \right\}$		M	1415,9		nicht aufgelöst
6198,31	1,5			K	1509,3		
6452,42	0,5	$0,43 \pm 0,05$		K	1582,9		
6530,36	0,8	$0,18 \pm 0,05$		K	1605,5		
6667,84	0,6	—					nicht gefunden
6721,28	0,8	$0,20 \pm 0,05$		K	1661,0		
6746,77	0,8	$\leq 0,1$		K	1668,4		nicht aufgelöst
6790,35	0,7			K	1681,0		nicht mit Sicherheit gefunden
6952,64	0,9	$0,41 \pm 0,05$		K	1728,3		
7001,75	0,5	—					nicht gefunden
7076,75	4,6	$4,16 \pm 0,15$		K	1764,4		
7143,18	0,5	$< 0,1$					nicht gefunden
7184,50	0,4	$< 0,1$		(K)	(1795,7)		nicht gefunden
7338,63	1,1	$\cong 0,8$		L	1764,4		
7365,05	0,6	$\left. \begin{array}{l} 1,20 \\ \cong 0,4 \end{array} \right\} \pm 0,10$		K	1848,5		nicht aufgelöst
7381,65	0,5			M	1764,4		
7412,22	0,5	$< 0,1$		K	1862,3		nicht mit Sicherheit gefunden
7940,15	0,4	$0,31 \pm 0,05$		K	2016,7		
—	$8192 \pm 10$	—	$0,13 \pm 0,05$	K		$2090,5 \pm 2,9$	
8281,90	0,4	$0,28 \pm 0,05$		K	2117,0	$2014,3 \pm 2,9$	?
—	$8385 \pm 10$	—	$\approx 0,08$	K?		$2147,2 \pm 2,9$	(?)
—	$8435 \pm 10$	—	$\approx 0,10$	K		$2161,9 \pm 2,9$	(?)
8580,12	1,1	$0,97 \pm 0,07$		K	2204,3		
8837,90	0,14	$0,17 \pm 0,05$		L	2204,3		
8879,56	0,1	$0,11 \pm 0,05$		M	2204,3		
—	$9370 \pm 15$	—	$\approx 0,04$	K	2292,8	$2437,2 \pm 4,5$	(?)
—	$9425 \pm 15$	—	$\approx 0,04$	K		$2453,4 \pm 4,5$	(?)

Tab. 1. Zusammenstellung und Interpretation der Meßergebnisse am Konversionslinienspektrum von RaC' ( $Po^{214}$ ). Die absoluten Konversionsintensitäten erhält man aus den relativen Intensitäten unter Berücksichtigung der von uns bestimmten absoluten Intensität der Linie 5874,4 Gauß · cm. Bei den in Spalte 6 angegebenen Energiewerten nach (II) handelt es sich um dort angegebene Energiemittelwerte, falls K-, L- und gegebenenfalls auch M-Konversionslinien gefunden wurden. ? Existenz nicht völlig gesichert, (?) Intensität unsicher, \* Intensitätsnormierungslinie; geschätzter Fehler 5%; absolute Intensität  $(3,19 \pm 0,48)\%$  pro Zerfall RaC.

bereits von ELLIS<sup>9</sup> angegebenen Linien möglich. Um den Vergleich zu erleichtern, haben wir unsere relativen Intensitäten auf den Wert 25,00 für die Linie bei 5874,4 Gauß · cm normiert. Die relativen Intensitäten wurden dabei durch Flächenbestimmung bzw. nach einer äquivalenten Methode ermittelt. Bei den angegebenen Fehlern handelt es sich um Abschätzungen auf Grund von Ergebnissen verschiedener

Auswertungen. Die absoluten Intensitäten pro Zerfall RaC folgen aus Spalte 4 unter Berücksichtigung der von uns gemessenen absoluten Intensität der K-Linie des 1416-keV-Übergangs bei 5874,4 Gauß · cm.

In dieser Tabelle sind die von uns gemessenen  $B_Q$ -Werte nur bei den neu gefundenen Linien angegeben; im übrigen wurden die genauereren Werte

nach (II) übernommen, auch dann, wenn sich in einigen wenigen Fällen kleine Abweichungen gegenüber unseren Meßwerten ergaben. Im allgemeinen war die Übereinstimmung aber ausgezeichnet. Bei den Intensitäten zeigten sich jedoch erwartungsgemäß starke Abweichungen gegenüber den in (II) photometrisch ermittelten Werten.

Zur Bestimmung der absoluten Konversionskoeffizienten

$$\alpha = N_e / N_\gamma \quad (1)$$

benötigt man außer den absoluten Konversionsintensitäten  $N_e$  auch die absoluten Intensitäten  $N_\gamma$  der zugehörigen  $\gamma$ -Strahlungen, die nur sehr ungenau bekannt sind.

Wir haben deshalb zur Bestimmung von  $\alpha$  nur die genauer bekannten relativen Intensitäten  $I_\gamma$  und  $I_e$  benutzt und mittels der Beziehung

$$\alpha = c I_e / I_\gamma \quad (2)$$

berechnet. Die Intensitäten  $I_\gamma$  haben wir von Dze-

$E_\gamma$ (keV)	Experimentelle Konversionsdaten			Theoretische Konversionsverhältnisse				Interpretation
	$\alpha_K \cdot 10^3$	K/L	K/M	SLIV E2	u. M1	BAND E2	ROSE M1	
533 (RaC)	21,4 $\pm$ 3,3							E2 (RaC)
609	15,20 $\pm$ 0,45	$3,63 \pm 0,20$	$\approx 11,5 \pm 2$	$\frac{K}{L}$ —	3,40	5,49	3,40	5,84
	(Normierung)	$(3,43 \pm 0,1)$	$(9,2 \pm 1,0)$	$\frac{K}{M}$	—	—	9,0	12,7
724	10,1 $\pm$ 4,0							E2
769	11,2 $\pm$ 0,8	$4,07 \pm 0,50$	$9,6 + 4,0$ $- 2,3$	$\frac{K}{L}$ —	4,07	5,49	4,06	5,74
		$(3,95 \pm 0,2)$	$(10,5 \pm 1,5)$	$\frac{K}{M}$	—	—	10,6	12,3
806	7,3 $\pm$ 1,2							E2
935	18,8 $\pm$ 0,9	$5,3 \pm 0,7$ $(5,3 \pm 0,4)$		$\frac{K}{L}$	4,60	5,50	4,56	5,66
1121	11,8 $\pm$ 0,5	6,0 $\pm$ 0,4		$\left(\frac{K}{L}\right)^*$	5,0	5,5	4,9	5,6
1155	10,4 $\pm$ 1,2							M1
1238	11,3 $\pm$ 1,1	$6,1 + 1,2$ $- 0,9$						M1
1281	9,36 $\pm$ 0,94							M1
1378	2,63 $\pm$ 0,58							E2
1416	total** konvertiert	$5,25 \pm 0,25$						E0
1583	6,18 $\pm$ 0,91							M1
1729	2,76 $\pm$ 0,41							M1
1765	4,04 $\pm$ 0,26	$\approx 5,2$						M1
2017	$\geq 40$							E0
2119	3,26 $\pm$ 0,68							M1
2204	2,94 $\pm$ 0,30	$\approx 5,7$						M1
2437	$\approx 0,4$							E1 (E2)

Tab. 2. Zusammenstellung der experimentellen Konversionsdaten und deren Interpretation. Der angegebene K-Konversionskoeffizient der 609-keV-Strahlung ist ein Normierungswert (siehe Text). Bei den in Klammern angegebenen Konversionsverhältnissen handelt es sich um Meßergebnisse, die in einer früheren Arbeit<sup>6</sup> bereits angegeben sind, und ihrer größeren Genauigkeit wegen hier mit aufgenommen worden sind. \* extrapoliert, \*\* (K/L)<sub>theor.</sub> für E0 nach D. E. ALBURGER u. A. HEDGRAN, Ark.

Fys. 7, 423 [1953]:  $5,5 \pm 0,6$ .

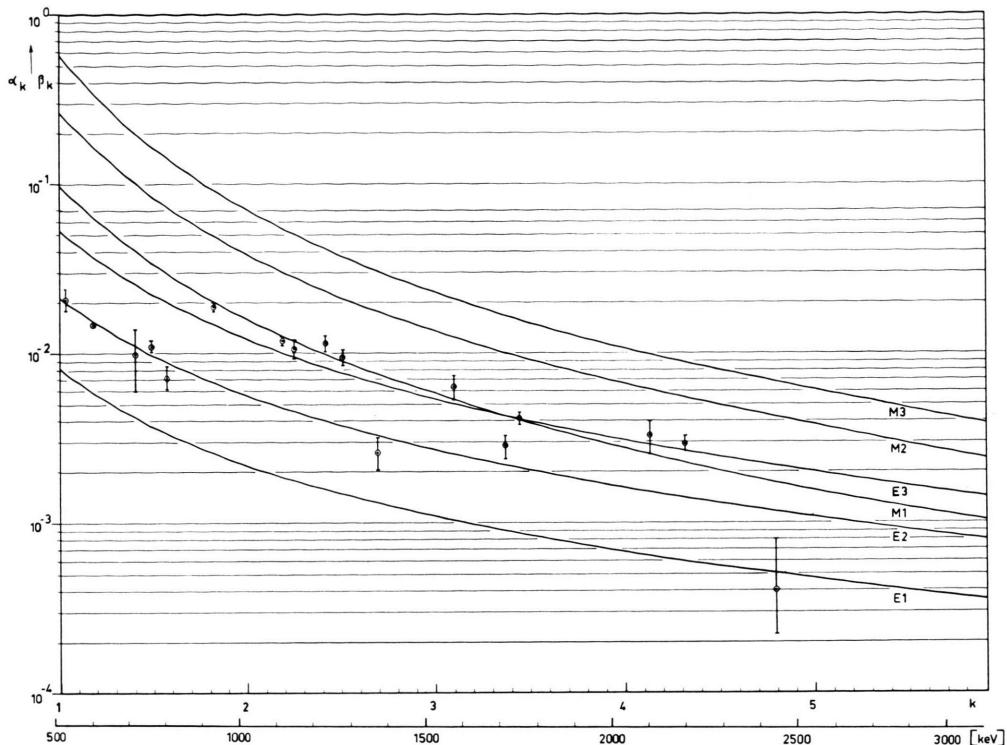


Abb. 5. Vergleich der experimentell bestimmten absoluten Konversionskoeffizienten von  $\text{Po}^{214}$  mit der Theorie nach SLIV und BAND<sup>12</sup>. Auf der Abszisse ist die Energie der Übergänge in Einheiten der Elektronenruhemasse angegeben. Zur Erleichterung der Übersicht ist außerdem eine keV-Skala eingezeichnet. Die dargestellten Fehler berücksichtigen nur die Unsicherheiten in unseren Messungen, da über die Fehler der relativen  $\gamma$ -Intensitäten<sup>11</sup> keine genauen Angaben vorliegen.

LEPOV u. a.<sup>11</sup> übernommen; die Konstante  $c$  wurde dabei unter Zugrundelegung des theoretischen<sup>12</sup> Konversionskoeffizienten der 609-keV-E2-Strahlung nach (2) ermittelt. Unsere absoluten Konversionskoeffizienten sind daher auf den theoretischen Wert  $1,52 \cdot 10^{-2}$  für den K-Konversionskoeffizienten der 609-keV-E 2-Strahlung normiert.

Eine Kontrolle für diese Normierung ergibt sich, wenn man unter Benutzung dieses theoretischen Wertes und unserer absoluten K-Konversionsintensität der 609-keV-Strahlung, die absolute  $\gamma$ -Intensität dieses Übergangs errechnet. Man erhält den Wert  $(0,38 \pm 0,07)$  Quanten pro Zerfall RaC, der erwartungsgemäß gut mit dem Mittel aus  $\gamma$ -Intensitäts-Messungen verschiedener Autoren<sup>11, 13-15</sup> übereinstimmt.

Auf diese Weise konnten bei 18 Übergängen die K-Konversionskoeffizienten bestimmt werden; bei

einem Teil von diesen Übergängen wurden außerdem auch Konversionsverhältnisse mit ausreichender Genauigkeit ermittelt. In Tab. 2 sind diese Daten ausführlich angegeben.

In Abb. 5 haben wir die experimentellen K-Konversionskoeffizienten mit der Theorie nach SLIV und BAND verglichen, um so die Multipolarität der einzelnen Übergänge in  $\text{Po}^{214}$  bestimmen zu können. Wie man diesem Vergleich entnimmt, liegen die gemessenen K-Konversionskoeffizienten meist bei den Kurven für M 1 oder E 2-Strahlung. Die Interpretation als E 3, die bei einer Reihe von Übergängen möglich erscheint, kann in allen Fällen ausgeschlossen werden, entweder durch Vergleich der ebenfalls gemessenen K/L-Verhältnisse mit der Theorie oder aus Gründen des Zerfallsschemas von RaC. Die Interpretationen für die einzelnen Übergänge sind in Tab. 2 angegeben.

<sup>11</sup> B. S. DZELEPOV, N. N. ZHUKOVSKY, S. A. SESTOPALOVA u. I. F. UCHEVATKIN, Nucl. Phys. **8**, 250 [1958].

<sup>12</sup> L. A. SLIV u. I. M. BAND, Akad. d. Wiss. USSR [1958] — USA-Report 58 ICC L 1, Univ. of Illinois, Urbana, Ill.

<sup>13</sup> M. MLADJENOVIC u. A. HEDGRAN, Ark. Fys. **8**, 49 [1954].

<sup>14</sup> B. S. DZELEPOV u. S. A. SESTOPALOVA, Nuovo Cim. **3**, Suppl. 1, 54 [1956].

<sup>15</sup> Eine ausführliche Zusammenstellung findet sich in (I) Tab. 2.

Außer dem schon lange bekannten total konvertierten Übergang bei 1416 keV haben wir auch den 2016-keV-Übergang als E0 interpretiert. Der K-Konversionskoeffizient dieser Strahlung ist nämlich, wie man der Tabelle entnimmt, ungewöhnlich groß. Da die zugehörige  $\gamma$ -Strahlung nicht mit Sicherheit gefunden worden ist<sup>3</sup>, sondern immer nur obere Grenzen für eine eventuell vorhandene Intensität angegeben werden konnten, handelt es sich vermutlich um einen total konvertierten Übergang; jedenfalls ist der K-Konversionskoeffizient größer, als man für E4-Strahlung erwarten würde. Sollte aber die 2016-keV- $\gamma$ -Strahlung doch existieren, so könnte man diesen Übergang evtl. als retardierte E1-Strahlung mit anomaler Konversion interpretieren.

Auf Grund unserer Messungen haben wir ein revidiertes Zerfallsschema von RaC konstruiert, das auch alle anderen Informationen über diesen Zerfall enthält. Das Termschema ergibt sich bereits weitgehend<sup>3</sup> aus  $\alpha$ -Zerfallsdaten,  $\gamma\gamma$ -Koinzidenzmessungen und höherenergetischen  $\gamma$ -Strahlungen, die nicht mehr als Kaskadenstrahlungen eingeordnet werden können. Es ist in Abb. 6 dargestellt und

unterscheidet sich in einigen Punkten von dem in einer früheren Arbeit (I) angegebenen Schema.

Mit wenigen Ausnahmen wurden alle Konversionslinien, die von uns bzw. von MLADJENOVIC und SLÄTIS gefunden wurden und zu  $\gamma$ -Energien oberhalb 240 keV gehören, bei der Einordnung in das Termschema berücksichtigt, sofern diese nicht in das Termschema von RaC ( $\text{Bi}^{214}$ ) eingeordnet werden konnten. Bei den erwähnten Ausnahmen handelt es sich nur um solche Linien, die nicht gut gesichert erscheinen. Dazu gehören solche Konversionslinien, die nach (II) vorhanden sein sollen, von ELLIS<sup>9</sup> und uns aber nicht gefunden wurden und zu denen auch keine zugehörige  $\gamma$ -Strahlung bekannt ist. Sie wurden deshalb nicht im Termschema berücksichtigt (5368, 5768, 5788, 5805, 5825, 6668, 7002 Gauß · cm). Ebenso wurden die von uns erstmals angegebenen Konversionslinien bei 3520 und 8385 Gauß · cm nicht eingeordnet, da sie nicht vollkommen gesichert erscheinen und keine zugehörige  $\gamma$ -Strahlung bekannt ist.

Außerdem wurden sämtliche bisher gefundenen  $\gamma$ -Strahlungen<sup>3, 11</sup> eingeordnet. Meist lassen sich diese bekannten Konversionslinien zuordnen. In

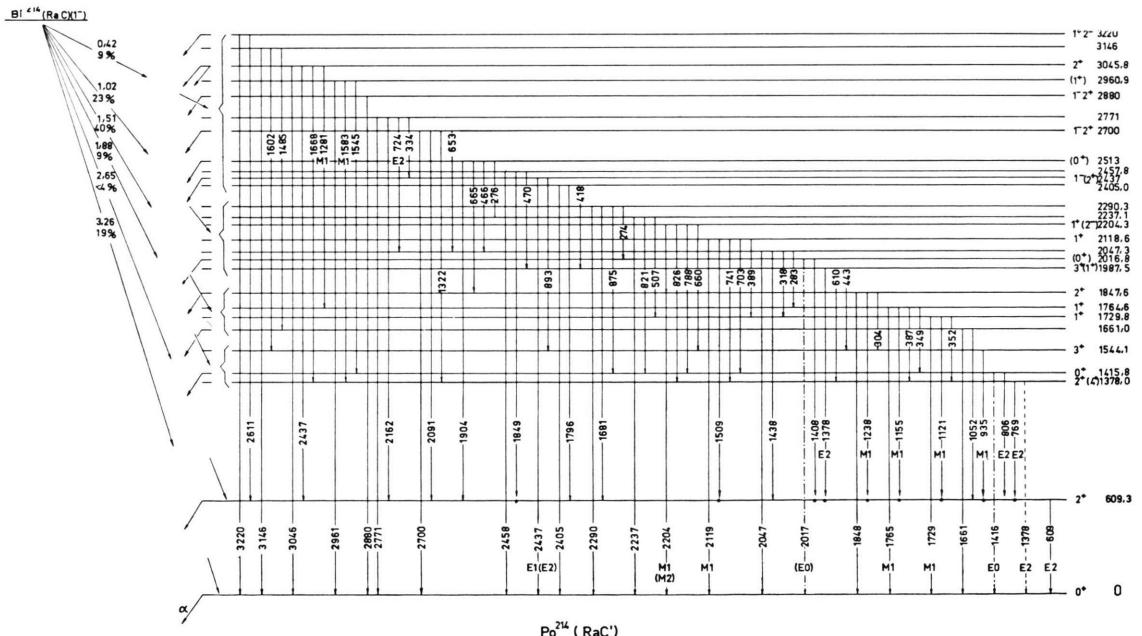


Abb. 6. Zerfallsschema von  $\text{Bi}^{214}$ – $\text{Po}^{214}$ . Die Energien der von  $\text{Bi}^{214}$  emittierten  $\beta$ -Gruppen<sup>2</sup> sind in MeV, die  $\gamma$ - und Niveau-Energien sind in keV angegeben. Für die  $\gamma$ -Übergänge sind nicht die Energiewerte nach Tab. 1 angegeben, sondern die sich aus den Niveauenergien ergebenden Differenzen. Die Fehler der angegebenen Niveauenergien sind im allgemeinen kleiner als 0,5 keV. Ausnahmen sind die Niveaus bei 2437, 2513, 2700 und 2771 keV mit einem Fehler kleiner als 3 keV und die Niveaus bei 2880, 3146 und 3220 keV, die energetisch noch nicht genau festliegen.

diesem Fall sind die genaueren Energieangaben der Konversionslinien bei der Einordnung in das Termschema benutzt worden. In einigen Fällen sind jedoch keine Konversionslinien zu den gemessenen  $\gamma$ -Übergängen bekannt.

Insgesamt ergeben sich so aus Konversions- und  $\gamma$ -Daten 79 Übergänge, die für die Einordnung in das  $\text{Po}^{214}$ -Termschema in Betracht kommen. Davon sind nur drei in das hier vorgeschlagene Schema nicht einzuordnen, da die in Frage kommenden Niveaudifferenzen bei Beachtung der Fehlergrenzen jeweils noch außerhalb der gemessenen Energie des einzuordnenden Übergangs liegen (1303, 1862<sup>11</sup> und 1783<sup>3</sup> keV). Vier weitere Strahlungen (960<sup>11</sup>, 1207<sup>5,11</sup>, 1970<sup>5</sup> und 2355<sup>5</sup> keV) sind nur sehr schlecht einzuordnen und daher ebenfalls nicht eingezeichnet worden. Die restlichen 72 Übergänge passen gut in das Niveauschema. Durch die genaueren Energiewerte der Konversionslinien konnte dabei eine Reihe bisher unsicherer Niveaupunkte exakter festgelegt werden, wodurch in einer Anzahl von Fällen über bisher zweifelhafte Einordnungen von Kaskadenübergängen entschieden werden konnte. Mit Hilfe der von uns bestimmten Multipolarität einzelner Übergänge erhält man außerdem, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Intensität konkurrierender Strahlungen und der bekannten  $\alpha$ -Zerfallsdaten, Aussagen über Spin und Parität einzelner Niveaus.

Bei einer Reihe von Übergängen ist immer noch eine mehrfache Einordnung in das Termschema möglich, insbesondere bei niederenergetischen  $\gamma$ -Strahlungen. Sofern nicht andere Informationen dagegen sprachen, haben wir in diesen Fällen diejenige Einordnung dargestellt, bei der die jeweils niedrigsten Niveaus beteiligt sind. Über die richtige Einordnung solcher Übergänge kann endgültig nur durch sehr genaue Koinzidenzmessungen entschieden werden.

Einzelne Bemerkungen zu verschiedenen Niveaus sind im Anhang zusammengestellt.

Wir danken Herrn Prof. W. GENTNER für sein förderndes Interesse an dieser Arbeit. Herrn Dr. J. JÄNECKE und Herrn W. EHRHARD danken wir für die bei der Herstellung der Emanationspräparate geleistete Hilfe.

Bei den Messungen wurden Geräte der Deutschen Forschungsgemeinschaft mitbenutzt.

<sup>16</sup> LORD RUTHERFORD, W. B. LEWIS u. B. V. BOWDEN, Proc. Roy. Soc., Lond. A **142**, 347 [1933].

<sup>17</sup> G. R. BISHOP, Nucl. Phys. **5**, 358 [1958].

## Anhang

**1281-keV-Übergang.** Wenn man wie in (I) ein  $\alpha$ -emittierendes Niveau bei 1281 keV annimmt, so ergibt sich auf Grund der  $\alpha$ -Auswahlregeln ein Widerspruch zu dem hier beobachteten M 1-Charakter der 1281-keV-Strahlung. Da außerdem die Existenz der korrespondierenden  $\alpha$ -Gruppe nach Angabe der Autoren<sup>16</sup> als fraglich angesehen werden muß, haben wir darauf verzichtet, dieses Niveau einzzeichnen, weil es sehr wahrscheinlich nicht existiert. Es sind auch nie  $\beta\gamma$ -Koinzidenzen beobachtet worden, die auf ein solches Niveau hingewiesen hätten. Ferner ist keine Kaskadenstrahlung zum 609-keV-Niveau gefunden worden.

Die 1281-keV-Strahlung kann man jedoch ohne weiteres als Übergang von dem relativ stark besetzten Niveau bei 3046 keV zum 1765-keV-Niveau einordnen.

**1544-keV-Niveau.** Ergänzend zu den Angaben in (I) haben wir die schwache  $(1541 \pm 5)$ -keV-Strahlung<sup>11</sup> als Übergang vom 2961-keV-Niveau zum 1416-keV-Niveau eingeordnet. Diese Einordnung wird durch  $\beta\gamma$ -Koinzidenzmessungen von BISHOP<sup>17</sup> gestützt.

**1661-keV-Niveau.** Dieses Niveau haben wir auf Grund der anders nicht einzuordnenden K-Konversionslinie bei 6721 Gauß $\cdot$ cm eingezeichnet. Da außerdem eine korrespondierende  $\alpha$ -Gruppe existiert sowie eine Kaskaden- und eine cross-over- $\gamma$ -Strahlung zugeordnet werden können, erscheint das Niveau gesichert.

**1848-keV-Übergang.** Die 1848-keV-Strahlung lässt sich an zwei Stellen des Termschemas einordnen. Beide Einordnungen sind durch  $\beta\gamma$ <sup>17</sup> bzw.  $\gamma\gamma$ -Koinzidenzmessungen<sup>18</sup> gestützt und deshalb, wie bereits in (I) eingezeichnet worden.

**1988-keV-Niveau.** Die Niveaupunkte sind innerhalb der Fehlergrenzen gleich der Summe der Niveaupunkte der ersten beiden 2<sup>-</sup>-Zustände. Eine solche Beziehung wird z. B. von DAVYDOV und FILIPPOV<sup>19</sup> im Rahmen ihrer Theorie für den ersten kollektiven 3<sup>+</sup>-Zustand gefordert.

**2204-keV-Niveau.** Zwar erscheint die Zuordnung 1<sup>+</sup> für dieses Niveau auf Grund des gemessenen K-Konversionskoeffizienten der 2204-keV- $\gamma$ -Strahlung am wahrscheinlichsten, jedoch kann 2<sup>-</sup> nicht mit volliger Sicherheit ausgeschlossen werden; insbesondere auch deshalb, weil damit das Fehlen des Übergangs zum 609-keV-Niveau eine Erklärung finden würde.

**2237-keV-Niveau.** Dieses Niveau ist nicht gut gesichert.

**2290-keV-Niveau.** Dieses Niveau haben wir neu eingeführt und damit den an anderer Stelle nicht einzuordnenden 875-, 1681- und 2290-keV-Übergängen Rechnung getragen.

**2770-keV-Niveau.** Die Einordnung der 724-keV-E 2-Strahlung an dieser Stelle ist nicht zwingend.

Wegen der Einordnung der 1378-keV-Strahlung und der Niveaus bei 1729, 1764, 2513, 3146 und 3220 keV sei auf (I) hingewiesen.

<sup>18</sup> R. E. ROWLAND, Phys. Rev. **99**, 757 [1955].

<sup>19</sup> A. S. DAVYDOV u. G. F. FILIPPOV, Nucl. Phys. **8**, 237 [1960].