

Messung niederenergetischer Neutroneneinfang-Strahlung vom Re 186 und Re 188

Von OTTO W. B. SCHULT, BERND WECKERMANN, TILL V. EGIDY und ERHARD BIEBER

Aus dem Laboratorium für Technische Physik der Technischen Hochschule München
(Z. Naturforschg. 18 a, 61–65 [1963]; eingegangen am 15. November 1962)

A crystal-spectrometer was used for the measurement of neutron capture γ -rays of Re 186 and Re 188 within the energy range of 30 and 350 (resp. 210) keV. A sudden decrease in intensity was found for both 69.5 and 105.8 keV lines of Re 188m when the reactor was shutt off. This fact, coincidence measurements and measurements with a scintillation spectrometer cannot be explained on the base of the level schemes given in the Nuclear Data Sheets, the tables of LANDOLT-BÖRNSTEIN or KUNZ-SCHINTLMEISTER. The investigation of the conversion-electron-spectrum shows the 63.5 and 105.8 keV transition to be of M1-type. The K_{L1} X-radiation is $(1.9 \pm 0.7) \cdot 10^{-3}$ times as intense as the K_{α_1} -radiation.

Bei der Messung der Neutroneneinfang- γ -Strahlung mit einem Szintillationsspektrometer fand DRAPER¹ beim Rhenium neben dem sehr starken RÖNTGEN-Peak drei Linien bei etwa 210, 143 und etwa 105 keV. Von diesen Linien abgesehen, deutet der Verlauf des Spektrums besonders unter etwa 400 keV auf mehrere nah benachbarte Linien hin, welche mit dem Szintillationszähler nicht mehr aufgelöst werden konnten.

Der isomere Zustand^{2–6} des Re 188 erleichtert prinzipiell das Studium des Termschemas dieses Isotops, weil dabei die Untersuchung auf diejenige Strahlung konzentriert werden kann, welche mit der Halbwertszeit des isomeren Niveaus (etwa 20 min) abklingt. Aus den Übergängen mit 105 und 63,5 keV ist im Tabellenwerk von LANDOLT-BÖRNSTEIN⁷ und den Nuclear Data Sheets⁸ ein Niveauschema vorgeschlagen worden, das einem anderen, nach Hinzufügung der 92 keV-Linie⁹ von KUNZ und SCHINTLMEISTER¹⁰ aufgestellten Niveauschema widerspricht.

Neben den bei leichten und mittleren Kernen beobachteten RÖNTGEN-Linien tritt bei schweren Kernen der als M1-Übergang erlaubte Übergang vom L_1 -Elektronenniveau in die K-Schale mit meßbarer Intensität im langwelligen Ausläufer der K_{α_2} -Linie in Erscheinung.

Zur genaueren Untersuchung des niederenergetischen Neutroneneinfang- γ -Spektrums wurden am

FRM in Garching bei München das Spektrum des natürlichen Isotopengemisches von 30 bis 210 keV und die Linien des Re 186 bis 400 keV mit hoher Auflösung gemessen. Um zur Klärung der Frage nach den unteren Niveaus und dem isomeren Zustand im Re 188 ein wenig beizutragen, wurden zusätzlich Szintillationsspektren aufgenommen, Koinzidenzmessungen angestellt und das Konversions-elektronenspektrum im interessierenden Energiebereich untersucht. Neben den γ -Linien wurden die RÖNTGEN-Linien ausgemessen, insbesondere der $L_1 - K$ -Übergang.

Meßmethode

Die Messung der Neutroneneinfang- γ -Strahlung und der RÖNTGEN-Linien geschah in bekannter Weise mit dem am FRM aufgestellten γ -Spektrometer¹¹. Dabei war zuerst das natürliche Isotopengemisch des Rheniums als Strahlenquelle verwendet worden. Beim Abschalten des Reaktors ließ sich der Intensitätsabfall von Linien, die Re 188 beim Zerfall des isomeren Zustands aussendet, über die Zeit von etwa einer Stunde gut verfolgen. Eine Zuordnung der gemessenen Übergänge zu den beiden Isotopen ermöglichte die Messung mit einer Quelle aus Re 185.

Mit Hilfe einer pneumatischen Anlage wurden Re-Proben aktiviert. Der Aufnahme des Szintillations-spektrums diente ein sehr gut auflösender $3'' \phi \times 3''$ NaJ-Kristall und ein TMC 256-Kanal-Analysator. Die

¹ J. E. DRAPER, Phys. Rev. **114**, 268 [1959].

² A. FLAMMERSFELD, Z. Naturforschg. **8 a**, 217 [1953].

³ W. HERR, Z. Naturforschg. **7 a**, 819 [1952].

⁴ J. W. MIHELICH, Phys. Rev. **89**, 907 A [1953].

⁵ F. D. S. BUTEMENT, Proc. Phys. Soc., Lond. A **64**, 395 [1951].

⁶ D. E. ALBURGER, Handbuch d. Physik, Bd. XLII, 75 [1957].

⁷ LANDOLT-BÖRNSTEIN, Bd. 1, Springer-Verlag, Berlin 1961 (2–428).

⁸ Nuclear Data Sheets, NRC 59-3-119.

⁹ J. M. HOLLANDER, I. PERLMAN u. G. T. SEABORG, Rev. Mod. Phys. **25**, 469 [1953].

¹⁰ W. KUNZ u. J. SCHINTLMEISTER, Tabellen der Atomkerne, Teil 1, Bd. 2, Akademie-Verlag, Berlin 1959.

¹¹ O. SCHULT, Z. Phys. **158**, 444 [1960].



verwendete Koinzidenzschaltung hatte eine Trennzeit von etwa $\tau = 8 \cdot 10^{-8}$ sec.

Das Konversionselektronenspektrum des Rheniums wurde mit dem am FRM installierten „Elefantenspektrometer“¹² gemessen. Das dicht neben dem Reaktorkern aufgehängte target bestand aus einer sehr dünnen ($0,45 \text{ mg/cm}^2$), auf eine Aluminiumfolie ($0,2 \text{ mg/cm}^2$) aufgedampften Rheniumheptoxydschicht.

Meßergebnis

Die Tabelle 1 enthält in der 1. Spalte die Wellenlängen (in X-Einheiten) der RÖNTGEN-Linien des Rheniums. Die zugehörigen Fehler (in mXE) stehen in der 2. Spalte. Die üblichen Bezeichnungen folgen in der 3. Spalte. Zum Vergleich sind in der 4. Spalte die Wellenlängenwerte nach INGELSTAM und BECKMAN (vgl. A. SANDSTRÖM¹³) eingetragen. Der Wert

$\lambda(\text{XE})$	$\Delta\lambda(\text{mXE})$	Benennung	Wellenlängen nach INGELSTAM u. BECKMAN
202,359	4	$K_{\alpha 1}$	202,359
207,183	5	$K_{\alpha 2}$	207,179
179,319	5	$K_{\beta 3}$	179,325
178,507	5	$K_{\beta 1}$	178,509
173,912	5	$K_{\beta 2} \text{ II}$	173,88
173,716	5	$K_{\beta 2} \text{ I}$	173,69
172,742	8	$K_{\text{II}} \text{ O}_{\text{III}}$	172,72
177,386	9	$K_{\beta 5} \text{ I}$	177,46
209,15	20	$K_{\beta 5} \text{ II}$	177,29
		K_{L1}	209,17*

* Der Wert von 209,17 ist aus den Energieniveaus nach SANDSTRÖM¹³ berechnet.

Tab. 1. RÖNTGEN-Wellenlängen des Rheniums.

von 177,386 XE hat lediglich die Bedeutung des Schwerpunkts der Linien $K_{\beta 5} \text{ I}$ und $K_{\beta 5} \text{ II}$, die wir nicht auflösen konnten. Der Wellenlängenwert von 209,17 XE für die K_{L1} -Linie ist aus den Energieniveaus nach SANDSTRÖM¹³ berechnet. Für das Verhältnis der Flächen unter dem Reflex der K_{L1} -Strahlung und unter der $K_{\alpha 1}$ -Linie finden wir

$$J(K_{\text{L1}})/J(K_{\alpha 1}) = (1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}.$$

Die gemessenen niederenergetischen γ -Linien, welche unmittelbar nach dem Neutroneneinfang ausgesandt werden, sind in Tab. 2 wiedergegeben. In der 1. Spalte ist das Isotop aufgeführt, das die Strahlung

Iso-top	E_γ (keV)	ΔE_γ (eV)	$I_\gamma/100 \text{ n}$	Literatur-hinweise
Re 186	59,015	3	11	$E_\gamma = 143 \text{ keV},$ $I_\gamma = 8^1$ $E_\gamma = 210 \text{ keV},$ $I_\gamma = 14^1$
	87,30	15	3	
	103,30	10	2	
	111,66	10	4	
	144,09	15	7	
	210,71	15	6	
	214,75	30	10	
	251,84	20	6	
	254,99	25	5	
	257,46	20	5,5	
Re 188	316,44	40	17	2, 3, 4, 6, 9 9 4, 6, 9
	63,581	3	15 *	
	92,447	6	3	
	105,960	8	7 *	
	167,40	20	4,5	
Os 188	207,90	30	8	$E = 155,1^{14}$ $155,3^{15,16}$ $154,87 \pm 0,05^{17}$
	155,04	20		

* Die Intensität der 63 keV-Linie verhält sich zu der der 105 keV-Strahlung wie $(2,1 \pm 0,4) : 1$.

Tab. 2. Niederenergetische Neutroneneinfang- γ -Strahlung von Re 186 und Re 188.

emittiert. In der 2. Spalte sind die Energiewerte der Linien (in keV) angegeben, in der 3. Spalte die Fehler in der Energiemessung (in eV). Die 4. Spalte enthält die Intensitäten I_γ der Linien, und zwar in Quanten pro 100 Neutroneneinfänge. In der 5. Spalte sind Literaturhinweise zu finden, falls die betreffenden Linien von anderen Autoren gefunden oder erwähnt worden sind, bzw. bei Re 188 zum Vergleich die Energiewerte nach DRAPER¹ und die von ihm angegebenen Intensitäten. Unsere nur als relativ grobe Anhaltspunkte anzusehenden Intensitätsangaben sind an die 155 keV-Linie im Os 188 angeschlossen.

Die Intensität der 63 keV- bzw. 105 keV-Linie verringert sich beim Abschalten des Reaktors nach einer Bestrahlungsdauer, die sehr lang war, verglichen mit der Halbwertszeit des isomeren Zustands, sprunghaft auf rund 1/23. ($\pm 20\%$) bzw. 1/11. ($\pm 20\%$) der Intensität, die während der Bestrahlung des Rheniums mit Neutronen gemessen wurde. Die dann verbleibende Restintensität klingt in bei-

¹² T. v. EGIDY, Ann. Phys., Lpz. VII. F., **9**, 221 [1962].

¹³ A. SANDSTRÖM, Handbuch der Phys., Bd. XXX, 164 [1957].

¹⁴ E. N. HATCH u. F. BOEHM, vgl. Rev. Mod. Phys. **30**, 763 [1958].

¹⁵ C. C. McMULLEN u. M. W. JOHNS, Phys. Rev. **91**, 418 [1953].

¹⁶ M. W. JOHNS, C. C. McMULLEN, J. R. WILLIAMS u. S. V. NABLO, Canad. J. Phys. **34**, 69 [1956].

¹⁷ N. RYDE u. B. ANDERSSON, Proc. Phys. Soc., Lond. B **58**, 1117 [1955].

den Fällen mit einer Halbwertszeit von etwa 20 min ab, was jeweils von kurz nach dem Reaktorabschalten bis etwa eine Stunde danach verfolgt wurde. (Der Reaktorkern war ungefähr 1 min nach dem Abschalten rund 1 m vom Strahlrohr weg bewegt worden.)

Die Szintillationsspektrometer-Messung derjenigen Strahlung, die beim Zerfall des isomeren Niveaus vom Re 188 emittiert wird, ergab Linien bei 105 und 92 keV, sowie eine starke Linie bei 62 keV, welche sich aus der RÖNTGEN-Strahlung und dem 63 keV-Übergang zusammensetzt.

Für die relativen Intensitäten dieser Linien ergab sich

$$\begin{aligned} I(X+63) &= 100; \\ I(105) &= 13,3 \pm 0,3; \\ I(92) &= 5,9 \pm 0,25. \end{aligned}$$

Im Bereich zwischen etwa 180 und 320 keV war keine Linie zu finden mit einer Intensität größer als 0,15 (statistische Meßgrenze). Bei den Koinzidenzmessungen war einmal der Kanal auf die X+63 keV-Linie eingestellt worden. Das Koinzidenzspektrum enthielt wieder die 105 und 92 keV-Linie, sowie den Peak bei 62 keV. Die relativen Intensitäten waren dabei

$$\begin{aligned} I(X+63) &= 100; \\ I(105) &= 6,8 \pm 0,5; \\ I(92) &= 3,1 \pm 0,4. \end{aligned}$$

Die Einstellung des Koinzidenzkanals auf die 105 und 92 keV-Linien zusammen ergab lediglich ein Maximum bei 62 keV. Mit der statistischen relativen Intensitätsgrenze von 0,7 (entspricht der fünf-fachen statistischen Schwankung) ergab sich

$$I(X+63) = 100; \quad I(105) < 0,7; \quad I(92) < 0,7.$$

Das mit dem β -Spektrometer zwischen 30 und 300 keV gemessene Neutroneneinfang-Konversions-elektronenspektrum des Rheniums zeigte die aus Tab. 3 ersichtlichen Linien. Die Elektronenenergien der Linien sind in die 1. Spalte eingetragen. Die getroffene Zuordnung geht aus Spalte 2 hervor. In der 3. Spalte steht die zugehörige relative Intensität. Zu ihrer Bestimmung wurden die Linien planimetriert, ihre Flächen durch die jeweilige Feldstärke

dividiert und die Impulszahl auf die jeweilige Absorption¹⁸ im Zählrohrfenster ($0,9 \text{ mg/cm}^2$ Hostaphan) korrigiert. Wegen der Untergrundschwankungen konnten Linien mit Intensitäten kleiner als 0,5 im relativen Maß nicht mehr gefunden werden. Die Berechnung der Elektronenenergie geschah mittels Extrapolation der bei früheren Messungen¹⁹ aufgestellten Eichkurve, wobei nach Identifizierung der L₁- und M₁-Linien des 63,581 keV-Übergangs die Eichkurve durch diese beiden Punkte gelegt wurde.

Elektronen-energie (keV)	Zuordnung der Linie	Relative Intensität
33,04	K 105,86	$8,3 \pm 2,0$
46,43	Auger KL ₁ L ₁	$7,7 \pm 1,0$
47,04	Auger KL ₁ L ₂	$1,8 \pm 1,0$
48,39	Auger KL ₁ L ₃	$4,0 \pm 1,0$
48,93	Auger KL ₂ L ₃	$4,5 \pm 1,0$
50,51	Auger KL ₃ L ₃	$3,3 \pm 1,0$
51,06	L ₁ 63,58	$3,5 \pm 1,0$
54,56	?	$5,0 \pm 2,0$
55,54	?	$1,8 \pm 1,0$
56,22	Auger KLM	$11,8 \pm 2,0$
56,68	Auger KLM	$4,8 \pm 1,0$
57,99	Auger KLM	$7,2 \pm 1,0$
60,71	M ₁ 63,58	$1,6 \pm 0,5$
63,59	K 137,22	—
80,96	K 155,04	—
93,30	L ₁ 105,86	$0,8 \pm 0,3$

Tab. 3. Konversionselektronen beim Neutroneneinfang in Rhenium.

Die größere Abweichung der aus der Elektronenenergie 33,54 berechneten Übergangsenergie 104,7 keV vom Sollwert 105,86 ist vermutlich auf die bei kleinen Energien mit größerer Unsicherheit behafte Extrapolation der Energieeichkurve zurückzuführen. Die Existenz der Linien 54,56 und 55,54 keV ist fraglich, da es sich hier beim Anstieg zur 56,22 keV-AUGER-Linie nur um Einsattelungen handelt, aus denen auf die beiden genannten Linien geschlossen werden könnte. Sofort nach Abschalten des Reaktors wurden nur die K-Linien des 137,22 keV-Übergangs in Os 186 und des 155,04 keV-Übergangs in Os 188 gefunden.

Diskussion

Ein Vergleich der von uns gemessenen RÖNTGEN-Wellenlängen des Rheniums mit den Werten, die INGELSTAM früher gefunden hatte, zeigt sehr gute

¹⁸ R. ARNOULT, Ann. Phys., Paris **12**, 241 [1939].

¹⁹ E. BIEBER, T. v. EGIDY u. O. W. B. SCHULT, Z. Phys. **170**, 465 [1962].

Übereinstimmung. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß auch die Wellenlänge für die KL_1 -Linie sehr nah bei dem erwarteten Wert liegt. Die im Vergleich zu den übrigen Linien geringe Meßgenauigkeit ist darauf zurückzuführen, daß die Messungen mit dem natürlichen Isotopengemisch und mit dem Isotop Re 185 durchgeführt wurden. In beiden Fällen erschwert die 59,015 keV- γ -Linie, deren Wellenlänge 209,650 XE beträgt, die also auf 1/400 bei der KL_1 -Linie liegt, eine genauere Energiemessung, zumal die γ -Linie etwa 20-mal so intensiv ist wie die KL_1 -Linie. Das gefundene Intensitätsverhältnis der KL_1 -Linie zur $K\alpha_1$ -Linie, der Wert von $(1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}$, paßt sehr gut zu den Werten von $1,6 \cdot 10^{-3}$ bzw. $2,2 \cdot 10^{-3}$, welche BECKMAN²⁰ bei den Elementen W und Au gefunden hat. Im Fall linearer Interpolation würde man $1,7 \cdot 10^{-3}$ erwarten.

Die bei den Messungen mit dem Kristallspektrometer während des Reaktorabschaltens beobachteten Intensitätssprünge der 63- und 105 keV-Linien bedeuten, daß der Aktivierungsquerschnitt für die 63,5 keV-Strahlung in guter Übereinstimmung mit dem Wert nach FLAMMERSFELD² etwa 0,5 b ist und daß keine dieser beiden Linien mit dem isomeren Übergang identisch ist. Demnach kann weder das Niveauschema nach KUNZ-SCHINTLMEISTER¹⁰ noch das andere, in den Nuclear Data Sheets⁸ und im Tabellenwerk von LANDOLT-BÖRNSTEIN⁷ angegebene, den Tatsachen entsprechen. Aus den Meßergebnissen von MIHELICH⁴, der K-, L₁- und M₁-Konversionslinien der 105 keV-Strahlung sowie L₁-, M₁- und N-Linien von der 63,5 keV-Strahlung gefunden hatte und außerdem $I(X+63,5)/I(105) > 10$ angibt [$I(X+63,5)$ = Intensität der RÖNTGEN- und 63,5 keV-Strahlung, $I(105)$ = Intensität der 105 keV-Strahlung], wird in LANDOLT-BÖRNSTEIN geschlossen, daß die 105 keV-Linie ein M2-Übergang und somit als isomerer Übergang für die 22 min-Halbwertszeit verantwortlich sei. MIHELICH⁴ selbst vermutet eine Spinänderung von 3. Wenn aber die 105 keV-Linie die Multipolarität M2 besäße, wäre der totale Konversionskoeffizient hierfür etwa 40. Die mit dem Kristallspektrometer gefundene γ -Intensität widerspricht der Annahme eines M2-Übergangs, was ein zweites Argument gegen dieses Niveauschema^{7,8} ist. KUNZ und SCHINTLMEISTER nehmen an, daß die 63 keV-Strahlung die lange Lebensdauer des isomeren Niveaus bedingt. Aus der von uns gefun-

den Intensität (während der Neutronenbestrahlung des Re) folgt aber, daß hierfür nur E1- oder M1-Strahlung möglich ist. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß ein K-Verbot den Übergang so sehr verzögert.

Aus der Kristallspektromettermessung folgt für die relativen Intensitäten während der Neutronenbestrahlung

$$I(63,5) = 100; \quad I(92) = 20 \pm 7; \quad I(105) = 47 \pm 9;$$

und nach dem Reaktorabschalten

$$I(63,5) = 100; \quad I(105) = 100 \pm 40.$$

Unsere Szintillationsspektromettermessung ergab $I(X+63,5)/I(105) \approx 7,5$ einen kleineren Wert als MIHELICH⁴ fand. Diese Diskrepanz ist wahrscheinlich auf die 92 keV-Linie zurückzuführen, die zwischen dem Maximum bei 105 keV und dem bei 63,5 keV und der RÖNTGEN-Strahlung liegt und – wenn die Auflösung des Szintillationskristalls nicht sehr gut ist – eine Untergrunderhöhung vorstellt, so daß man das 105 keV-Maximum zu klein mißt.

Wegen $I(63,5)/I(105) = 1 \pm 0,4$ nach der Aktivierung und aus den relativen Intensitäten unserer Szintillationsspektromettermessung ist dann

$$I(X) = 87 \pm 6; \quad I(63) = 13 \pm 6; \\ I(92) = 5,9 \pm 0,25; \quad I(105) = 13,3 \pm 0,3.$$

Wegen der K-RÖNTGEN-Strahlungsausbeute von 0,95 für jedes Loch in der K-Schale ist die Intensität der K-Konversion

$$I(K) = 92 \pm 6.$$

Nach diesen Messungen ist der K-Konversionskoeffizient für die in den Nuclear Data Sheets und dem Tabellenwerk von LANDOLT-BÖRNSTEIN unberücksichtigte 92 keV-Strahlung maximal 18 und für die 105 keV-Linie kleiner als 8, was wiederum M2-Multipolarität ausschließt, und zwar in beiden Fällen.

Aus den Messungen mit dem Elefantenspektrometer folgt für die 63,5 keV-Linie eine Multipolarität M1, da nur L₁- und M₁-Konversionslinien gefunden wurden. Diese Zuordnung ist in voller Übereinstimmung mit MIHELICHS⁴ Ergebnissen und unseren übrigen Messungen. Für die 105 keV-Strahlung fordern die β -Spektromettermessungen allein E1- oder M1-Charakter. Aus dem mit dem Kristallspektrometer gemessenen Verhältnis der γ -Intensitä-

²⁰ O. BECKMAN, Ark. Fys. 9, 495 [1955].

ten der 105 und 63 keV-Strahlen und der relativen Intensität $3,5 \pm 1,0$ der L_1 -Konversionslinie des 63 keV-Übergangs ergibt sich für die K-Konversionslinie der 105 keV-Strahlung unter der Annahme, daß es sich auch hier um M1-Konversion handelt, eine relative Intensität von $6,0 \pm 2,5$, zu vergleichen mit dem Meßwert von $8,3 \pm 2,0$. Folglich kann man auch die 105 keV-Linie als M1-Übergang ansehen (die Annahme eines E1-Übergangs liefert eine relative Intensität von nur $0,43 \pm 0,2$, also einen viel zu kleinen Wert).

Aus diesen Überlegungen ergibt sich für die totalen Intensitäten $I_t(e + \gamma)$ der 63 und 105 keV-Übergänge im relativen Maß

$$I_t(63,5) = 47 \pm 17; \quad I_t(105) = 61 \pm 4.$$

Die Tatsache, daß keine Konversionslinien mit relativen Intensitäten größer als 0,5 für den 92 keV-Übergang mit dem β -Spektrometer gefunden wurden, legt es nahe, anzunehmen, daß in diesem Fall ein E1-Übergang vorliegt. Dafür wäre die totale Intensität

$$I_t(92) \approx 8,4.$$

Dann wäre ein Anteil von $I'(X) = 40 \pm 6$ noch nicht untergebracht; d. h. man kann erwarten, daß wenig-

stens noch ein anderer, bisher nicht gefundener Übergang vorliegt.

Es ist nicht möglich, aus den vorliegenden Daten ein neues Zerfallschema vorzuschlagen. Die Koinzidenzmessungen besagen, daß innerhalb der Koinzidenzauflösungszeit von $\tau \approx 1,6 \cdot 10^{-7}$ sec keine Koinzidenzen zwischen der 105 und 92 keV-Linie auftreten. Wenn man von einem weiteren Zustand mit größerer Lebensdauer absieht, folgt daraus, daß diese beiden Übergänge nebeneinander verlaufen. Aus der Größe der Intensitätssprünge der 105 und 63 keV-Linien beim Abschalten des Reaktors darf man schließen, daß der 63 keV-Übergang tiefer liegt als der 105 keV-Übergang, wenn diese beiden Übergänge koinzident sind, was aus unseren Messungen nicht mit Sicherheit hervorgeht, da vorerst die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, daß die Linie bei 62 keV anstatt der 63 keV- γ -Quanten nur RÖNTGEN-Quanten eines oder mehrerer noch nicht entdeckter hoch konvertierter Übergänge enthält. In diesem Falle würden alle drei Übergänge nebeneinander liegen, was auch die Tatsache erklären könnte, daß wir keine *cross-over transitions* gefunden haben.

Herrn Professor Dr. H. MAIER-LEIBNITZ möchten wir für die Förderung dieser Arbeit herzlich danken.