

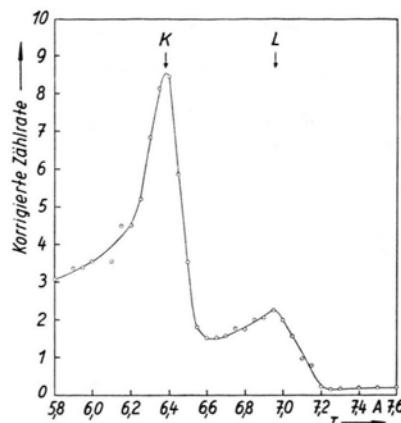
1	2	3	4	5
	Grenzenergie (MeV)	Intensität pro $\beta^+$ (%)	Intensität pro Zerfall (%)*	$\log ft$
	(2,5)	< 0,2	< 0,2	> 7,7
$\beta_1$	$2,237 \pm 0,015$	$15 \pm 2$	13	5,8
$\beta_2$	$2,113 \pm 0,020$	$56 \pm 3$	49	5,1
$\beta_3$	$1,39 \pm 0,04$	$19 \pm 6$	19	4,7
$\beta_4$	$0,82 \pm 0,08$	$10 \pm 4$	19	4,1

Tab. 1.  $\beta^+$ -Gruppen des  $\text{Ga}^{65}$  (\* siehe Text).

Die Grenzenergie des mitgemessenen  $\beta^+$ -Kontinuums des  $\text{Ga}^{68}$  ergab sich zu  $(1,88 \pm 0,02)$  MeV.

Ferner wurden die Konversionslinien des 53-keV-Übergangs mit dem Linsenspektrometer aufgenommen. Als Detektor fand hier ein Endfensterzählrohr Verwendung. Abb. 5 zeigt die auf zeitlichen Abfall und Zählerfensterabsorption korrigierte Zählrate als Funktion des Spulenstroms. Man erkennt die K- und L-Konversionslinien einer  $\gamma$ -Strahlung von  $(53,0 \pm 0,6)$  keV (Konversion in Zink vorausgesetzt). Rückdiffusion und Selbstabsorption erklären die energiearmen Ausläufer der Linien. Das Verhältnis K-Konversion zu (L+M)-Konversion beträgt etwa 3,8. Das Intensitätsverhältnis zwischen Konversions-elektronen des 53-keV-Übergangs und Positronen liegt bei 0,1. Als Halbwertzeit für den Abfall der Konversionslinien wurden  $(15 \pm 3)$  min gefunden.

Sichere Werte der theoretischen K/L-Verhältnisse für den 53-keV-Übergang liegen nicht vor. Der Vergleich mit ähnlichen Fällen<sup>10</sup> und mit den Daten

Abb. 5. K- und L-Konversionslinien der  $\gamma$ -Strahlung von 53 keV.

von GOLDHABER und SUNYAR<sup>12</sup> lässt jedoch die Interpretation der 53-keV-Strahlung beim  $\text{Ga}^{65}$  als Quadrupol- oder allenfalls M 3-Übergang gerechtfertigt erscheinen. Auf jeden Fall ist Dipolcharakter auszuschließen. Der Übergang muß also hochkonvertiert sein und tritt deshalb insgesamt in *etwa* 10% aller  $\text{Ga}^{65}$ -Zerfälle auf.

Herrn Prof. W. BOTHE † schulde ich für sein fördern-des Interesse, das er stets an meiner Arbeit genommen hat, herzlichen Dank. Herrn Dr. U. SCHMIDT-ROHR sei für die Durchführung der Bestrahlungen am Zyklotron und Herrn Dr. MAYER-KUCKUK für die chemischen Trennungen gedankt. Für die Untersuchung wurden Apparate der Deutschen Forschungsgemeinschaft mitbenutzt.

<sup>12</sup> M. GOLDHABER u. A. W. SUNYAR, Phys. Rev. **83**, 906 [1951].

## Zum Zerfall von $\text{Ga}^{65}$

### II. $\gamma$ -Spektrum und Koinzidenzmessungen

Von TH. MAYER-KUCKUK

Aus dem Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg  
(Z. Naturforschg. **12 a**, 365—367 [1957]; eingegangen am 13. März 1957)

Im  $\gamma$ -Spektrum von  $\text{Ga}^{65}$  wurden mit einem Szintillationsspektrometer Linien von  $(118 \pm 3)$  keV,  $(738 \pm 6)$  keV,  $(906 \pm 8)$  keV,  $(1378 \pm 30)$  keV und  $(1858 \pm 30)$  keV gefunden. Ferner wurden Koinzidenzmessungen mit zwei Szintillationsspektrometern ausgeführt. Ein vorläufiges Zerfallschema wird angegeben.

Um ein Zerfallschema für das  $\text{Ga}^{65}$  zu gewinnen, wurden Messungen am  $\gamma$ -Spektrum sowie  $\gamma - \gamma$ - und  $\beta - \gamma$ -Koinzidenzmessungen durchgeführt, die im folgenden beschrieben sind. Messungen am  $\beta^+$ -Spek-

trum werden von DANIEL<sup>1</sup> in der vorstehenden Arbeit mitgeteilt (hier kurz als „I“ zitiert). Dort finden sich auch Angaben über die früheren Messungen an diesem Isotop.

<sup>1</sup> H. DANIEL, Z. Naturforschg. **12 a**, 363 [1957], voranstehend.

## 1. Herstellung der Quellen

Zur Herstellung der Präparate wurde reine Zinkfolie mit Deuteronen von etwa 7 MeV im Heidelberger Zyklotron bestrahlt und anschließend in 5-n. Salzsäure gelöst. Nach Abfiltrieren ungelöster Reste und Zugabe von etwas Cu- und Ga-Träger wurde die Lösung mit dem gleichen Volumen Äther durchgeschüttelt und dann im Scheide-trichter von der Ätherfraktion getrennt. Der Äther wurde nochmals mit 5-n. Salzsäure gewaschen, abgetrennt, mit einem Faltenfilter von Wasserresten befreit und schließlich im Heißluftstrom unter einem Ultrarotstrahler auf der Trägerfolie für die Messung eingedampft. Es wurden Galliumpräparate mit einer Anfangsaktivität der Größenordnung  $10 \mu\text{C}$  erhalten. Die Beimengung an anderen Galliumisotopen, vor allem Ga<sup>68</sup>, betrug etwa ein Viertel der Gesamtaktivität.

## 2. $\gamma$ -Spektrum

Das  $\gamma$ -Spektrum wurde mit einem Szintillationspektrometer, bestehend aus einem NaJ(Tl)-Kristall (44 mm Durchmesser, 51 mm Höhe)<sup>2</sup>, untersucht. Die Registrierung erfolgte entweder oszillographisch nach der Graukeilmethode oder mit einem Einkanal-diskriminatator. Einige Spektren konnten mit einem 120-Kanal-Impulshöhenanalysator nach HUTCHINSON<sup>3</sup> aufgenommen<sup>4</sup> werden. Die mit dem Einkanal-diskriminatator gewonnenen Spektren wurden auf den zeitlichen Abfall des Präparates, alle Spektren auf den Untergrund an anderen Galliumisotopen korrigiert. Abb. 1 zeigt eine typische Kurve. Zur Abschätzung der  $\gamma$ -Intensitäten pro Zerfall wurden die

Präparate mit einem Aluminiumabsorber für die Positronen umgeben. Dann wurde die Intensität der einzelnen  $\gamma$ -Linien relativ zur Intensität der Vernichtungsstrahlung bestimmt durch Vergleich der Flächen unter den Photolinien und Korrektion auf die Energieabhängigkeit des Bruchteiles der Quanten, die zur Photolinie im Impulsspektrum beitragen<sup>5</sup>. Die Halbwertzeit von 15 min wurde für jede Linie gesondert geprüft.

Tab. 1 enthält die gemittelten Ergebnisse aller Messungen. In Spalte 2 stehen die Intensitäten pro  $\beta^+$ -Zerfall, in Spalte 3 die Intensitäten pro Gesamtzerfall. Als Einfanganteil wurden die theoretischen Werte für K-Einfang genommen<sup>6</sup>.

1	2	3
Energie (keV)	Quanten pro $\beta^+$	Quanten pro Zerfall*
$53,0 \pm 0,6$ **		
$118 \pm 3$	$(0,65 \pm 0,2)$	0,52
510	2	1,64
$738 \pm 6$	$(0,14 \pm 0,07)$	0,11
$906 \pm 8$	$(0,013 \pm 0,008)$	0,01
$1378 \pm 30$	$(0,06 \pm 0,05)$	0,05
$1858 \pm 30$	$< 0,01$	$< 0,01$

Tab. 1.  $\gamma$ -Energien und Intensitäten.  
\* vgl. Text, \*\* siehe I, Ziff. 2.

Die 53-keV- $\gamma$ -Linie konnte im Szintillationsspektrum nicht sicher identifiziert werden. Ihre Intensität ist jedenfalls klein. Die von CRASEMANN<sup>7</sup> mitgeteilte Linie von 94 keV konnte nicht gefunden werden.

## 3. Koinzidenzmessungen

Zur Klärung des Zerfallschemas wurden  $\gamma - \gamma$ - und  $\beta - \gamma$ -Koinzidenzmessungen mit einer früher beschriebenen Anordnung von zwei NaJ-Szintillationspektrometern<sup>8</sup> unternommen, bei der die Koinzidenzen oszillographisch registriert werden durch Abbildung als Punkte, deren Koordinaten den Impulshöhen der koinzidierenden Strahlen proportional sind. Abb. 2 \* zeigt eine Aufnahme nebst dem zugehörigen Eichspektrum als Beispiel. Abb. 3 gibt das insgesamt erhaltene  $\gamma - \gamma$ -Koinzidenzmuster schematisch wieder. Aus den Aufnahmen ersieht man sofort, daß die  $\gamma$ -Linien von 117 keV und von 738 keV miteinander koinzidieren. Außerdem sind, wenn auch

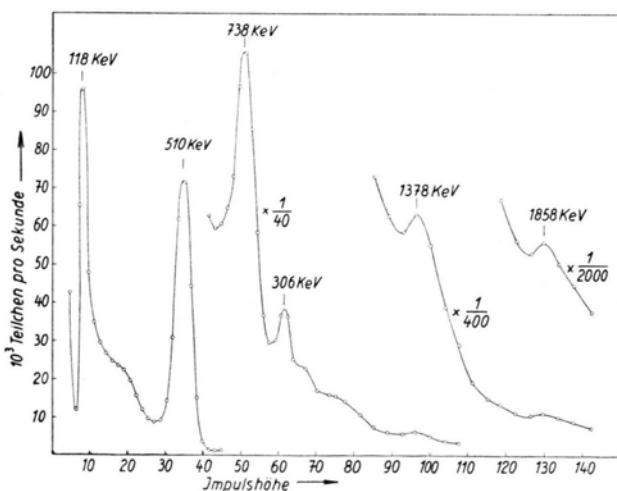


Abb. 1.  $\gamma$ -Szintillationsspektrum von Ga<sup>65</sup>.

<sup>2</sup> Bezogen von Harshaw Chem. Comp. Cleveland, Ohio, USA.

<sup>3</sup> G. W. HUTCHINSON u. G. G. SCARROTT, Phil. Mag. **42**, 792 [1951].

<sup>4</sup> Im Institut gebaut von Herrn K. MÜLLER.

<sup>5</sup> M. J. BERGER u. J. DOGGET, Rev. Sci. Instrum. **27**, 269 [1956].

<sup>6</sup> E. FEENBERG u. G. TRIGG, Rev. Mod. Phys. **22**, 399 [1950].

<sup>7</sup> B. CRASEMANN, Phys. Rev. **93**, 1034 [1954].

<sup>8</sup> TH. MAYER-KUCKUK, Z. Naturforschg. **11a**, 627 [1956].

\* Abb. 2 a - c auf Tafel S. 366 a.

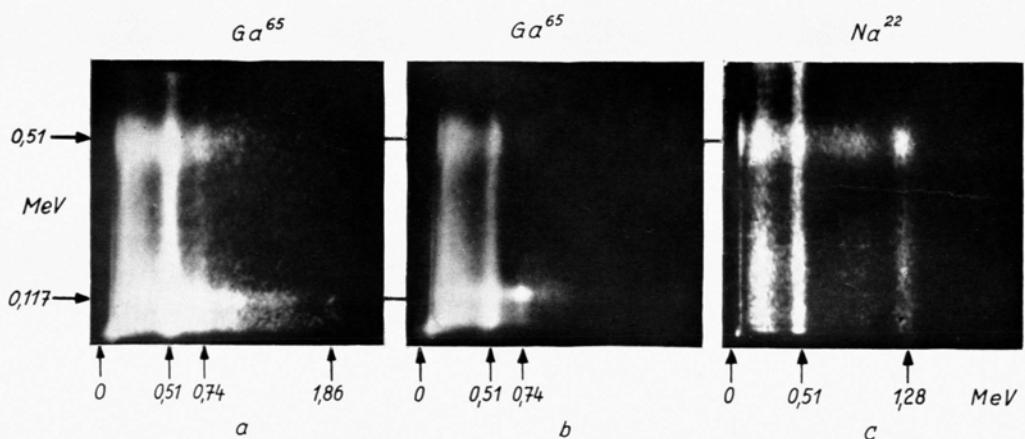


Abb. 2. a, b)  $\gamma-\gamma$ -Koinzidenzaufnahme von  $Ga^{65}$ . Zwei verschiedene Kopien des gleichen Negativs. c)  $Na^{22}$ -Eichspektrum.

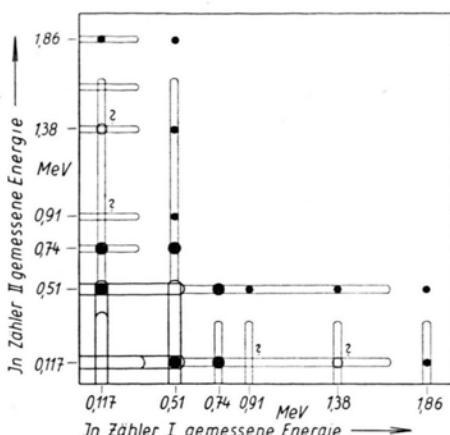


Abb. 3. Schema der  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzaufnahmen von  $\text{Ga}^{65}$ . Koinzidenzen zwischen Photolinien sind durch gefüllte Kreise wiedergegeben. COMPTON-COMPTON-Koinzidenzen sind fortgelassen.

aus Intensitätsgründen weniger ausgeprägt, Koinzidenzen zwischen den 117-keV- und den 1858-keV-Quanten zu sehen. Eine Koinzidenz (117 keV – 1378 keV) ist nicht zu erkennen, kann aber wegen des COMPTON-Untergrundes der 1858-keV-Linie nicht völlig ausgeschlossen werden. Eine Koinzidenz (117 keV – 906 keV) ist möglich, aber nicht sicher zu identifizieren.

Die  $\beta$ - $\gamma$ -Koinzidenzbilder zeigen, daß die 117-keV-Quanten im wesentlichen mit Positronen derselben Grenzenergie wie die Vernichtungsquanten koinzidieren und die  $\gamma$ -Linien von mehr als 510 keV mit Positronen geringerer Energie. Wegen des intensiven Untergrundes an Vernichtungsquanten im  $\beta$ -Zähler ist eine genaue Energiebestimmung der koinzidierenden  $\beta$ -Gruppen nicht möglich.

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse der hier und in I beschriebenen Messungen lassen sich am einfachsten in dem Schema Abb. 4 zusammenfassen. Die schwache  $\gamma$ -Strahlung von 906 keV ist nicht eingezeichnet, weil nicht feststeht, ob sie zum Grundzustand oder zum 117-keV-Niveau führt. Ein etwa zugehöriges  $\beta$ -Spektrum hätte aus Intensitätsgründen wohl nicht beobachtet werden können. Das Schema ist auch insofern unvollständig, als sich aus den Messungen kein Hinweis auf die Einordnung der 53-keV-Strahlung ergibt. Es ist nicht auszuschließen, daß diese Strahlung nach einer Vermutung von CRASEMANN<sup>7</sup> zu einem isomeren Zustand in  $\text{Ga}^{65}$  gehört, obwohl bei den hier beschriebenen Messungen keine Strahlung von 8 min Halbwertzeit gefunden wurde. Andererseits

wäre eine Aufspaltung der Gruppe  $\beta_1$  oder  $\beta_2$  in zwei Komponenten von 53 keV Energiedifferenz offensichtlich mit den Messungen verträglich.

Die Energiedifferenz zwischen  $\beta_1$  und  $\beta_2$  beträgt  $(124 \pm 25)$  keV, in guter Übereinstimmung mit der  $\gamma$ -Energie von 117 keV. Aus Energie- und Intensitätsgründen muß die Gruppe  $\beta_1$  im wesentlichen zum Grundzustand des  $\text{Zn}^{65}$  führen.

Nach den Auswahlregeln für Spin- und Paritätsänderung sind alle  $\beta$ -Gruppen von I, Tab. 1, erlaubt. Aus dem Schalenmodell lassen sich keine definitiven Werte für die Spins der Grundzustände entnehmen, jedoch sollte die Parität in beiden Fällen ungerade sein, in Übereinstimmung mit dem Charakter des Übergangs  $\beta_1$ .

Niveaus in  $\text{Zn}^{65}$  sind auch bei der Untersuchung der Reaktion  $\text{Cu}^{65}(\text{p}, \text{n})\text{Zn}^{65}$  gefunden worden<sup>9</sup>. Sie sind zum Vergleich in Abb. 4 miteingezeichnet.

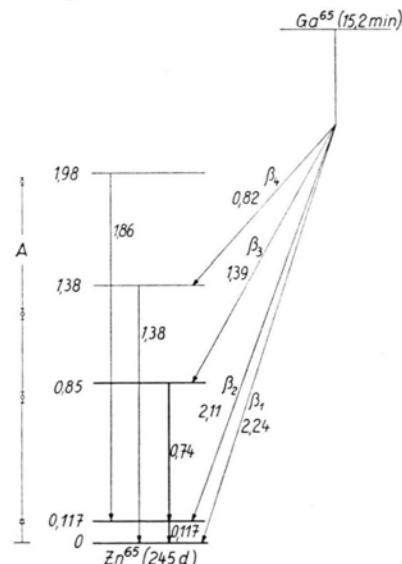


Abb. 4. Vorläufiges Zerfallschema von  $\text{Ga}^{65}$ . Die Übergänge von 53 keV und 906 keV sind nicht eingeordnet; ferner sind die zu erwartenden Einfangszweige nicht angegeben. Unter A sind die bei der Reaktion  $\text{Cu}^{65}(\text{p}, \text{n})\text{Zn}^{65}$  gefundenen Niveaus wiedergegeben<sup>9</sup>. Energien in MeV.

Herrn Prof. W. BOTHE † danke ich herzlich für sein förderndes Interesse, das er stets an meiner Arbeit genommen hat. Herrn Dr. U. SCHMIDT-ROHR sei für die Durchführung der Bestrahlungen am Zyklotron und Herrn K. MÜLLER für die Unterstützung bei den Arbeiten mit seinem Vielkanaldiskriminatoren gedankt. Für die Untersuchung wurden Apparate der Deutschen Forschungsgemeinschaft benutzt.

<sup>9</sup> J. B. MARION u. R. A. CHAPMAN, Phys. Rev. **101**, 283 [1956]; R. M. BRUGGER, T. W. BONNER u. J. B. MARION, Phys. Rev. **100**, 84 [1955].