

## Intensitätsmessungen im $180^\circ$ - $\beta$ -Spektrographen durch Auszählen der Elektronenspuren in Kernspurplatten

Von PETER KLEINHEINS

Hochspannungslaboratorium Hechingen,  
Abt. des Max-Planck-Instituts für Physik der Stratosphäre  
(Z. Naturforschg. **11 a**, 252—253 [1956]; eingegangen am 25. Januar 1956)

Der  $180^\circ$ - $\beta$ -Spektrograph mit Photoplatte und konstantem, homogenem Magnetfeld hat gegenüber den  $\beta$ -Spektrometern mit variablem, meist inhomogenem Magnetfeld und fester Elektronenbahn an Bedeutung verloren. Die Lichtstärke der  $180^\circ$ - $\beta$ -Spektroskope ist bekanntlich geringer; dazu kommen die Nachteile der photographischen Nachweismethode: sie ist weniger empfindlich als der Nachweis durch elektronische Zähler, vor allem aber ist die Messung von Intensitäten über die Umdeutung von Schwärzungen in Elektronenzahlen schwierig und ungenau. Der  $\beta$ -Spektrograph mit Photoplatte besitzt jedoch auch wesentliche Vorteile<sup>1</sup>: Der Aufbau der Apparatur ist einfach; mit geringem Aufwand läßt sich große Genauigkeit der Feldmessung erreichen; besonders vorteilhaft ist die Möglichkeit, einen großen Teil des Spektrums bzw. eine größere Anzahl unbekannter Konversionslinien *gleichzeitig* zu registrieren. Dadurch wird die geringere Transmission des Spektrographen zum Teil wieder ausgeglichen. Aus diesem Grund wird der Spektrograph heute noch, neben seiner Verwendung zu Präzisionsmessungen<sup>2</sup>, dort benutzt, wo Isotope von zwar starker Aktivität, aber nur sehr kurzer Halbwertszeit untersucht werden sollen<sup>3</sup>. Zur Ermittlung der Intensitäten aus den Schwärzungen müssen dann allerdings jeweils — wenigstens für jede Plattenlieferung besondere — umständliche Eichmessungen vorgenommen werden<sup>3</sup>. Wegen ihres geringen

Schleieruntergrundes und ihres feinen Kornes bei hoher Elektronenempfindlichkeit verwendet man neuerdings auch Kernspurplatten (z. B. Kodak NTB).

Es liegt nahe, den Vorteil der elektronischen Zählmethoden, die Registrierung der einzelnen Teilchen, mit dem Vorteil des Spektrographen, der simultanen Messung eines Teiles des Spektrums, zu verbinden, indem man die Einzelspuren der zu jedem Impulsintervall gehörenden Elektronen in der Kernspurplatte unter dem Mikroskop auszählt. Damit können Intensitäten ohne Eichung und Umrechnung gemessen werden; die Empfindlichkeit der Registrierung entspricht der des elektronischen Nachweises. Über Versuche in dieser Richtung ist gelegentlich berichtet worden, doch ist eine quantitative Verwendung bisher nicht bekannt geworden.

Im folgenden sollen einige technische Einzelheiten und Ergebnisse dieser Methode mitgeteilt werden: Für die elektronenempfindliche Schicht wird Ilford G 5-Emulsion verwendet, die alle Anforderungen bezüglich Empfindlichkeit, geringem Schleier und Haftfähigkeit im Vakuum erfüllt. Damit die Zahl der Untergrundspuren klein bleibt, werden die Platten jeweils erst wenige Stunden vor der Belichtung aus aufgeschmolzener Emulsion in einer Schichtdicke von 20 bis 50  $\mu$  gegossen. Der  $180^\circ$ - $\beta$ -Spektrograph hat eine maximale Feldstärke von 2500 Oe und einen maximalen Bahnradius von 9,5 cm.

Zur Auswertung dient ein Leitz-Ortholux-Mikroskop mit Stereoeinrichtung<sup>4,5</sup>. Nur in Stereobetrachtung können nämlich die stark gekrümmten Elektronenspuren sicher ausgezählt werden; es erfordert allerdings einige Übung. Dabei gestatten die *Spurlängen* zusätzlich eine rohe Unterscheidung zwischen „echten“ und gestreuten bzw. Untergrund-Elektronen; dies läßt sich etwa mit einer Impulshöhendiskriminierung bei elektronischen Zählern vergleichen. Die Stereoeinrichtung

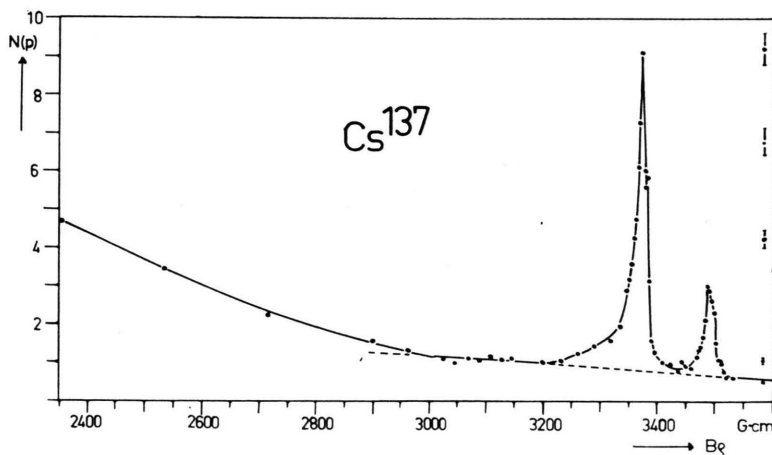


Abb. 1.  $\text{Cs}^{137}$ , Impulsspektrum (350 bis 700 keV).

<sup>1</sup> K. SIEGBAHN, Beta- und Gamma-Ray Spectroscopy, Amsterdam 1955, S. 64.

<sup>2</sup> z. B. K. SIEGBAHN, Ark. Mat. Astr. Fys. **30 A**, No. 20 [1944].

<sup>3</sup> z. B. W. C. RUTLEDGE, J. M. CORK u. S. B. BURSON, Phys. Rev. **86**, 775 [1952]; dort weitere Literaturangaben.

<sup>4</sup> W. BRAUN, Dissertation Stuttgart 1955.

<sup>5</sup> Wir danken Herrn Dr. CLAUSEN von der Fa. E. Leitz, Wetzlar, für die Unterstützung bei diesen Versuchen.



erlaubt ferner, nicht von der Schichtoberfläche ausgehende Spuren auszuscheiden. Der Untergrund wird an solchen Stellen der Platte ermittelt, die bei der Belichtung abgedeckt blieben; dies entspricht der Nullmessung durch Schließen des Detektorspalts im Spektrometer. Außerdem wird stets eine Vergleichsplatte mitgegossen und unbelichtet ausgewertet.

Abb. 1 gibt das so erhaltene Impulsspektrum des  $\text{Cs}^{137}$  im Bereich von 350 bis 700 keV wieder. Die Aktivität der Quelle war  $20 \mu\text{C}$ , die Belichtungszeit 1,6 h. Zu erkennen sind die K- und (L+M)-Konversionslinien der 661 keV- $\gamma$ -Strahlung, der energiereiche Teil des niederenergetischen  $\beta$ -Spektrums ( $E_0 = 523 \text{ keV}$ ) und als „Untergrund“ ein Teil des höherenergetischen Spektrums ( $E_0 = 1,17 \text{ MeV}$ ). Aus den Halbwertsbreiten der Linien erhält man eine Auflösung von 5 bis 6 $^\circ$ /100. Das Verhältnis der Konversionskoeffizienten  $K/(L+M)$  ergibt sich aus dem Verhältnis der Flächen zu 4,62; bekannt ist der Wert 4,64 $^\circ$ . Die Linien sind visuell auf der Platte noch zu erkennen; zur quantitativen Photometrierung reicht die Schwärzung nicht aus. Im Maximum der K-Linie ist die Spurendichte rund  $5 \cdot 10^5$  Spuren/cm $^2$ , im „Untergrund“ rund  $2,5 \cdot 10^4$  Spuren/cm $^2$ .

Abb. 2 zeigt den FERMI-KURIE-Plot von  $\text{Co}^{60}$ , ausgezählt aus 4 aneinander anschließenden Teilaufnahmen. Die Aktivität der Quelle betrug  $8 \mu\text{C}$ , die Belichtungszeit jeweils 3 h. Die Schwärzung der Platten ist noch geringer als im vorigen Fall. Die Spuren der Elektronen der niedrigsten, noch gemessenen Energie (20 keV) bestehen aus 2 bis 3 Körnern an der Schichtoberfläche, die sich bei unserer Auswertmethode noch gut vom Schleieruntergrund unterscheiden lassen. Die in Abb. 1 und 2 angegebenen Fehlergrenzen enthalten nur die statistischen Fehler.

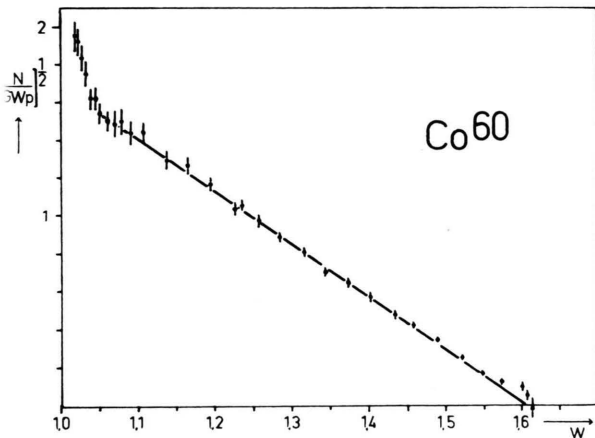


Abb. 2.  $\text{Co}^{60}$ , FERMI-KURIE-Plot.

In Abb. 3 ist der FERMI-KURIE-Plot des energiereichen Teiles (400 bis 800 keV) des  $\beta$ -Spektrums von  $\text{Te}^{127}$  wiedergegeben. Die zur Verfügung stehende Quelle war sehr schwach (ca.  $0,05 \mu\text{C}$ ), von sehr geringer spezifischer Aktivität, sehr breit (3,5 mm) und von beträchtlicher Dicke (ca.  $30 \text{ mg/cm}^2$ ), wodurch die geringe Auflösung und damit die relativ großen Fehler in der Abszisse bedingt werden. Es wurde 8 h belichtet. Im normalen  $\beta$ -Spektrographen gleicher Lichtstärke wäre hier eine Messung unmöglich: Die Schwärzung durch die Spuren ist geringer als der Volumschleier selbst einer sehr klaren Platte. Die maximale Spurendichte ist  $1,1 \cdot 10^4$  Spuren/cm $^2$ , während für ähnliche Energien zur Schwärzung von der Dichte 0,5 selbst in empfindlichsten Platten etwa  $10^7$  Spuren/cm $^2$  erforderlich sind $^7$ . — Um im Spektrometer gleicher Lichtstärke Meßpunkte mit gleichem statistischem Fehler zu erhalten, müßte für jeden der Meßpunkte die Meßzeit von 8 h aufgewandt werden, was die Halbwertszeit von  $\text{Te}^{127}$  (9,3 h) nicht zuläßt. Zu jedem Impulsintervall kann eine Plattenfläche ausgezählt werden, die mindestens ebenso groß ist wie der Detektorspalt eines Spektrometers gleicher Lichtstärke. — Bis vor kurzem waren für die Maximalenergie dieses Spektrums die in Absorption gemessenen Werte 0,8 MeV $^8$  und 0,7 MeV $^9$  bekannt. Aus dem Plot der Abb. 3 läßt sich der Wert  $E_0 = (0,72 \pm 0,05) \text{ MeV}$  entnehmen. Inzwischen bestimmten DAY u. a. $^{10}$  die Maximalenergie zu  $E_0 = 0,683 \text{ MeV}$ .

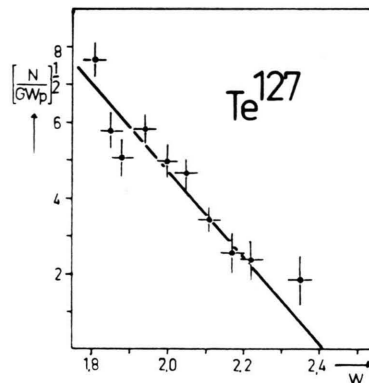


Abb. 3.  $\text{Te}^{127}$ , FERMI-KURIE-Plot des energiereichen Teiles (400 bis 800 keV). Quelle sehr geringer Aktivität.

Herrn Prof. Dr. E. SCHOPPER danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für die Förderung und Unterstützung bei ihrer Durchführung.

$^6$  G. A. GRAVES, L. M. LANGER u. R. D. MOFFAT, Phys. Rev. **88**, 344 [1952].

$^7$  D. E. BEISCHER, Nucleonics **11**, S. 24 (Dezember 1953).

$^8$  G. T. SEABORG, J. J. LIVINGOOD u. J. W. KENNEDY, Phys. Rev. **57**, 363 [1940].

$^9$  L. E. GLENDENIN, NNS-PPR **9**, 979 [1951] zitiert in J. M. HOLLANDER, J. PERLMAN u. G. T. SEABORG, Rev. Mod. Phys. **25**, 469 [1953].

$^{10}$  M. C. DAY, G. W. EAKINS u. A. F. VOIGT, Phys. Rev. **100**, 796 [1955].