

Figur 176:

Graphische Darstellung der Halbwertszeiten von magnetischen Multipolübergängen, abgeschätzt mit Hilfe der Weisskopf-Formel. Diese Figur ist dem gleichen Buch wie Figur 160 entnommen.

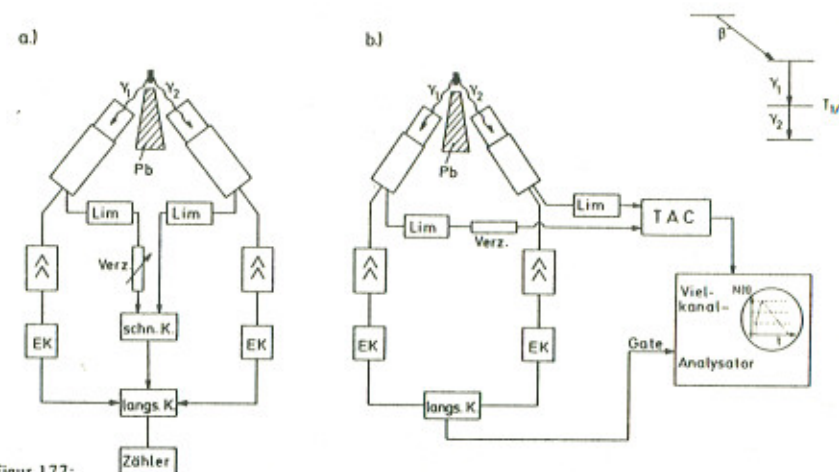
#### 64 Bestimmung der Halbwertszeiten von Gamma-Übergängen durch verzögerte Koinzidenzen, „pulsed beam“-Techniken und durch chemische Methoden

Lit.: Bell in Siegbahn: „Alpha-, Beta-, and Gamma-Ray Spectroscopy“, North Holland Publ.Comp., Amsterdam 1968, chapter XXVII  
 Li and Schwarzschild, Phys.Rev. 129, 2668 (1963)  
 Tove, Nucl.Instr. 1, 95 (1957)  
 Radeloff, Buttler, Kesternich, and Bodenstedt, Nucl.Instr. 47, 109 (1967)

CIP-Kurztielaufnahme der Deutschen Bibliothek  
 Bodenstedt, Erwin  
 Experimente der Kernphysik und ihre Deutung. -  
 Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut  
 Teil 2. - 2., durchges. Aufl. - 1978.  
 ISBN 3-411-01551-9

Die einfachste und am häufigsten angewendete Methode zur Bestimmung von Halbwertszeiten von Gamma-Übergängen ist die der „verzögerten Koinzidenzen“.

Figur 177 zeigt schematisch den Versuchsaufbau. Die einfachere Version a) arbeitet nach folgendem Prinzip:



Figur 177:

Block-Diagramme für die Messungen der Halbwertszeiten mit Hilfe der Methode verzögerter Koinzidenzen. Figur 177a zeigt eine fast-slow Koinzidenzanordnung, bei der im schnellen Teil eine variable Verzögerungsleitung eingebaut ist. Die Abkürzungen bedeuten im einzelnen: Lim Limiter oder Begrenzerstufen, EK Einkanaldiskriminator und schn.K. Schnelle Koinzidenzstufe. Figur 177b zeigt die Erweiterung der in a) gezeigten Skizze unter Verwendung eines Zeitimpulshöhenkonverters (TAC) in Verbindung mit einem Vielkanalanalysator. Das Ausgangssignal der langsamen Koinzidenz wird dazu verwendet, den Vielkanalanalysator anzusteuern.

Es soll die Halbwertszeit des mittleren Niveaus einer Gamma-Gamma-Kaskade im Zerfall eines radioaktiven Isotops bestimmt werden. Als Gamma-Detektoren werden zwei Szintillationsdetektoren verwendet. Ist die Halbwertszeit größer als  $10^{-9}$  sec, so können NaJ(Tl)-Szintillatoren benutzt werden. Bei kürzeren Halbwertszeiten ist man auf organische Szintillatoren angewiesen, die eine kürzere Abklingzeit der Leuchtzentren haben.

Die Lichtblitze werden mit Photomultiplier-Röhren in elektrische Impulse umgewandelt, die anschließend durch einen Linearverstärker verstärkt werden. Die zwei folgenden Einkanaldiskriminatoren werden auf die Photolinien der beiden gewünschten Gamma-Strahlungen eingestellt. Sie lassen damit nur diejenigen Impulse hindurch, die von Gamma-Quanten der gewünschten Energie herrühren. Die Ausgänge dieser beiden Einkanaldiskriminatoren führt man einer langsamen Koinzidenzstufe mit einer Zeitauflösung von mehreren Mikrosekunden zu. Neben dieser sogenannten langsamen Koinzidenz verwendet man noch einen schnellen Koinzidenzkreis, der nur diejenigen Ereignisse



nisse passieren läßt, bei denen die Zeit zwischen der Emission von Gamma 1 und Gamma 2 in einem kleinen vorgegebenen Zeitintervall lag.

Als Zeitsignal verwendet man den allerersten Anstieg der Anodenimpulse der Photomultiplier-Röhren. Durch Begrenzer- und Impulsformerstufen formt man einheitliche Impulse sehr kurzer Länge und führt sie einer schnellen Koinzidenzstufe zu. Diese gibt nur dann ein Ausgangssignal, wenn sich beide Impulse überlappen. Koinzidenzen werden nur dann auftreten, wenn man die Verzögerungszeit zwischen der Emission von Gamma 1 und Gamma 2 durch ein Verzögerungskabel künstlich kompensiert, das hinter den Limiter (Begrenzerstufe) des Detektors für Gamma 1 geschaltet wird. Den Ausgang der schnellen Koinzidenz gibt man auf den dritten Eingang der langsamen Koinzidenzstufe.

Damit ist sichergestellt, daß insgesamt nur dann ein Ausgangssignal auf den elektronischen Zähler gelangt, wenn sowohl beide Gamma-Quanten die richtige Energie haben, als auch die Verzögerungszeit zwischen Gamma 1 und Gamma 2 in einem vorgeschriebenen Zeitintervall liegt. Die Breite dieses Zeitintervalls ist durch die Zeitauflösung der schnellen Koinzidenzstufe bestimmt. Die Lage des Zeitintervalls ist durch die Länge des eingeschalteten Verzögerungskabels festgelegt.

Die Messung wird so durchgeführt, daß die Koinzidenzzählrate nacheinander bei einer großen Anzahl verschiedener Verzögerungen beobachtet wird. Es muß natürlich berücksichtigt werden, daß es auch zufällige Koinzidenzen gibt. Ihre Zahl ist unabhängig von der eingestellten Verzögerung\*. Wenn man des-

\*Wenn die radioaktive Probe die Aktivität von  $N$  Zerfällen pro sec hat und in jedem Zerfall die untersuchte  $\gamma\gamma$ -Kaskade enthalten ist, dann beträgt die zufällige Koinzidenzzählrate:

$$(404) \quad N_{\text{Zuf}} = 2\tau \cdot N_1 \cdot N_2,$$

wo:

$$(405) \quad N_1 = N \cdot \epsilon_1 \quad \text{und} \quad N_2 = N \cdot \epsilon_2$$

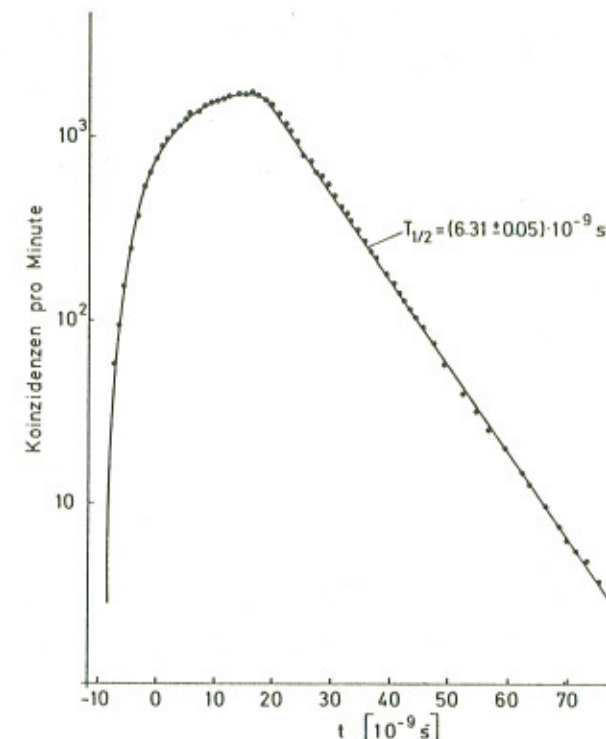
die Einzelzählraten der beiden Detektoren bedeuten.  $\epsilon_1$  und  $\epsilon_2$  sind die Ansprechwahrscheinlichkeiten der Detektoren unter Einschluß der Raumwinkel.  $2\tau$  ist die Auflösezeit der schnellen Koinzidenz.

Wenn  $2\tau$  groß ist gegenüber der Lebensdauer des mittleren Niveaus, dann beträgt die wahre Koinzidenzzählrate:

$$(406) \quad N_w = N \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2,$$

und das Verhältnis von zufälligen Koinzidenzen zu wahren Koinzidenzen ist allein bestimmt durch:

$$(407) \quad \frac{N_{\text{Zuf}}}{N_w} = \frac{2\tau \cdot N^2 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2}{N \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2} = N \cdot 2\tau.$$



Figur 178:

Messung der Lebensdauer des 80 keV Niveaus von  $^{133}\text{Cs}$  mit Hilfe einer Apparatur entsprechend dem Block-Schaltbild in Figur 177a. Diese Figur ist der Arbeit von Bodenstedt, Körner und Matthias, Nucl. Phys. 11, 584 (1959), entnommen.

halb die Verzögerung sehr groß macht oder die Verzögerungsleitung in den anderen Kanal legt, so mißt man direkt die Rate der zufälligen Koinzidenzen. Sie muß von den Meßwerten abgezogen werden.

Figur 178 zeigt als Beispiel die auf diese Weise bestimmte Lebensdauer des 80 keV Niveaus von  $^{133}\text{Cs}$ . Man erwartet bei einem Zerfall des mittleren Niveaus entsprechend dem radioaktiven Zerfallsgesetz

$$(403) \quad N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t} = N(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$

daß die Koinzidenzzählrate  $N(t)$  bei logarithmischer Darstellung als Funktion der Verzögerungszeit in einer Geraden abfällt, und aus der Steigung dieser Geraden liest man die Halbwertszeit ab.

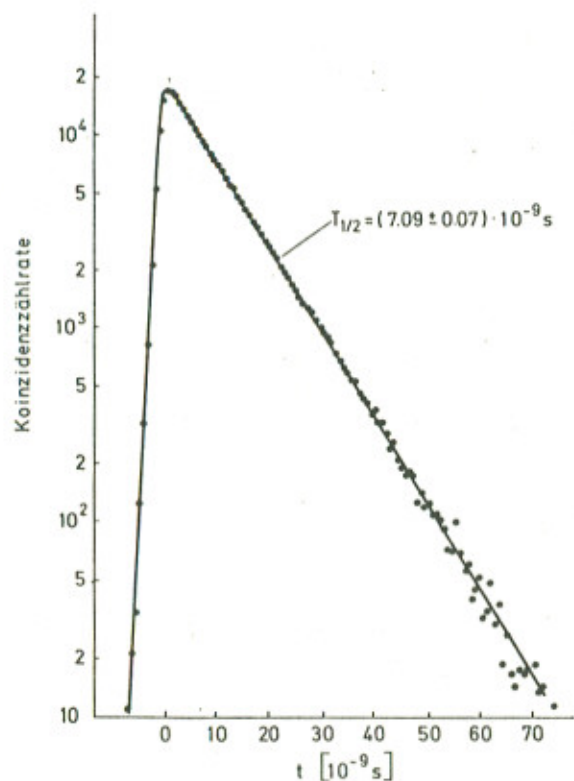
Heute wird meist eine technisch verfeinerte Methode verwendet. Sie ist in der Version b) der Figur 177 schematisch dargestellt. Man möchte den Nachteil der Version a) vermeiden, daß die einzelnen Punkte der Meßkurven einzeln



nacheinander bestimmt werden müssen. Dieses Verfahren ist nicht nur sehr zeitraubend, sondern es entstehen zusätzliche Quellen systematischer Fehler dadurch, daß die Aktivität des radioaktiven Mutterisotops abklingt und dadurch, daß die Meßelektronik über lange Zeit hin nicht beliebig stabil ist.

Figur 177b zeigt, wie man unter Verwendung eines Vielkanalanalysators das gesamte Zeitspektrum der Koinzidenzen gleichzeitig erfassen kann.

Man verwendet jetzt eine fest eingestellte Verzögerungszeit im Kanal von Gamma 1. Anstelle einer schnellen Koinzidenz benutzt man einen Zeitimpulshöhenkonverter (time amplitude converter oder TAC). Als Eingangsimpulse werden lange Rechteckimpulse verwendet, deren erste Anstiegsflanke dem Zeitpunkt des Ereignisses entspricht. Im Zeitimpulshöhenkonverter werden beide Impulse überlagert, und es wird die Überlappung beobachtet. Die Elektronik dieser Stufe produziert bei Überlappung einen Ausgangsimpuls, dessen Höhe der Überlappungsdauer proportional ist. Der Vielkanalanalysator speichert jeden einzelnen Impuls in dem seiner Impulshöhe entsprechenden Zähl-



Figur 179:

Messung der Lebensdauer des 305 keV Niveaus von  $^{48}\text{V}$  mit einer dem in Figur 177b dargestellten Blockschaltbild entsprechenden Apparatur. Diese Figur ist der Arbeit von Auerbach, Braunsfurth, Maier, Bodenstedt und Flender, Nucl. Phys. A 94, 427 (1967), entnommen.

kanal. Durch ein von der langsamen Koinzidenz gesteuertes Eingangs-gate werden nur solche Ereignisse zugelassen und im Vielkanalanalysator registriert, bei denen die Energien beider Gamma-Quanten stimmen. Als Beispiel zeigt Figur 179 die nach dieser Methode durchgeführte Messung der Lebensdauer des 305 keV Niveaus von  $^{48}\text{V}$ . Interessant ist ein Vergleich zwischen den beiden in Figur 178 und Figur 179 dargestellten Meßkurven. In beiden Fällen ist die Lebensdauer in der gleichen Größenordnung, und es wurden NaJ(Tl)-Detektoren verwendet. Die Flankensteilheit der Zeitspektren der Koinzidenzen, die man mit beiden Anordnungen bei einem prompten Zerfall erhalten würde, ist etwa gleich. Die recht verschiedene Gestalt der beiden Meßkurven auf der linken Seite wird dadurch hervorgerufen, daß in der ersten Messung die Breite des Zeitfensters durch die schnelle Koinzidenzstufe bestimmt ist, die auf den recht breiten Wert von etwa  $2\tau = 25$  nsec eingestellt war. Da  $2\tau \gg T_{1/2}$  ist, folgt die linke Seite der Meßkurve etwa der Funktion  $1 - e^{-\lambda t}$ ; beim „TAC“ ist die Breite des Zeitintervalls durch die sehr kleine Kanalbreite des Vielkanalanalysators bestimmt. Die linke Seite der Meßkurve fällt deshalb etwa mit der Flankensteilheit der „prompten Kurve“ ab.

Zu kurzen Lebensdauern hin liegt die technische Grenze der Methode für mittlere Gamma-Energien und bei Verwendung von schnellen Plastik-Szintillatoren etwas unterhalb von  $10^{-10}$  sec. Figur 180 zeigt als Beispiel eine Messung der Lebensdauer des  $4^+$ -Rotationszustandes von  $^{166}\text{Er}$  durch Li und Schwarzschild. Die endliche Breite der „prompten Kurve“ ist vor allem durch die statistische Schwankung der Verzögerungszeit zwischen der Absorption des Gamma-Quants und der Auslösung der ersten Fotoelektronen aus der Kathode des Multipliers bestimmt.

Zu langen Lebensdauern hin liegt die Grenze der „TAC-Technik“ bei etwa  $10^{-5}$  sec. Sie ist dadurch bestimmt, daß bei langen Verzögerungszeiten die wahren Koinzidenzen empfindlich durch zufällige Koinzidenzen blockiert werden.

Tove zeigte, daß das folgende Schaltungsprinzip den Meßbereich erweitert; man verwendet einen Gamma (1)-Impuls, um die Zeitmeßeinheit zu starten. Nach diesem Startimpuls wird die Verzögerungszeit jedes folgenden Gamma (2)-Signals innerhalb eines fest vorgegebenen Zeitintervalls registriert.

Danach wird der Meßvorgang unterbrochen, und der nächste Gamma (1)-Impuls löst eine erneute Messung aus. Man muß mit extrem schwachen Präparaten arbeiten, um die zufällige Koinzidenzrate niedrig zu halten. Dies erfordert andererseits, daß die Detektoren eine möglichst große Ansprechwahrscheinlichkeit haben, damit die Gesamtmeßdauer in vernünftigen Grenzen bleibt.

Die längste bisher mit dieser Methode verzögerter Koinzidenzen an einem radioaktiven Präparat gemessene Halbwertszeit ist die des 1315 keV Niveaus des  $^{177}\text{Hf}$ . Radeloff et al. bestimmten sie zu  $T_{1/2} = 1,1$  sec. Die Autoren