

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

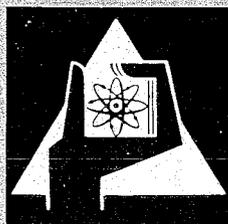
Januar 1969

KFK 887

Institut für Angewandte Kernphysik

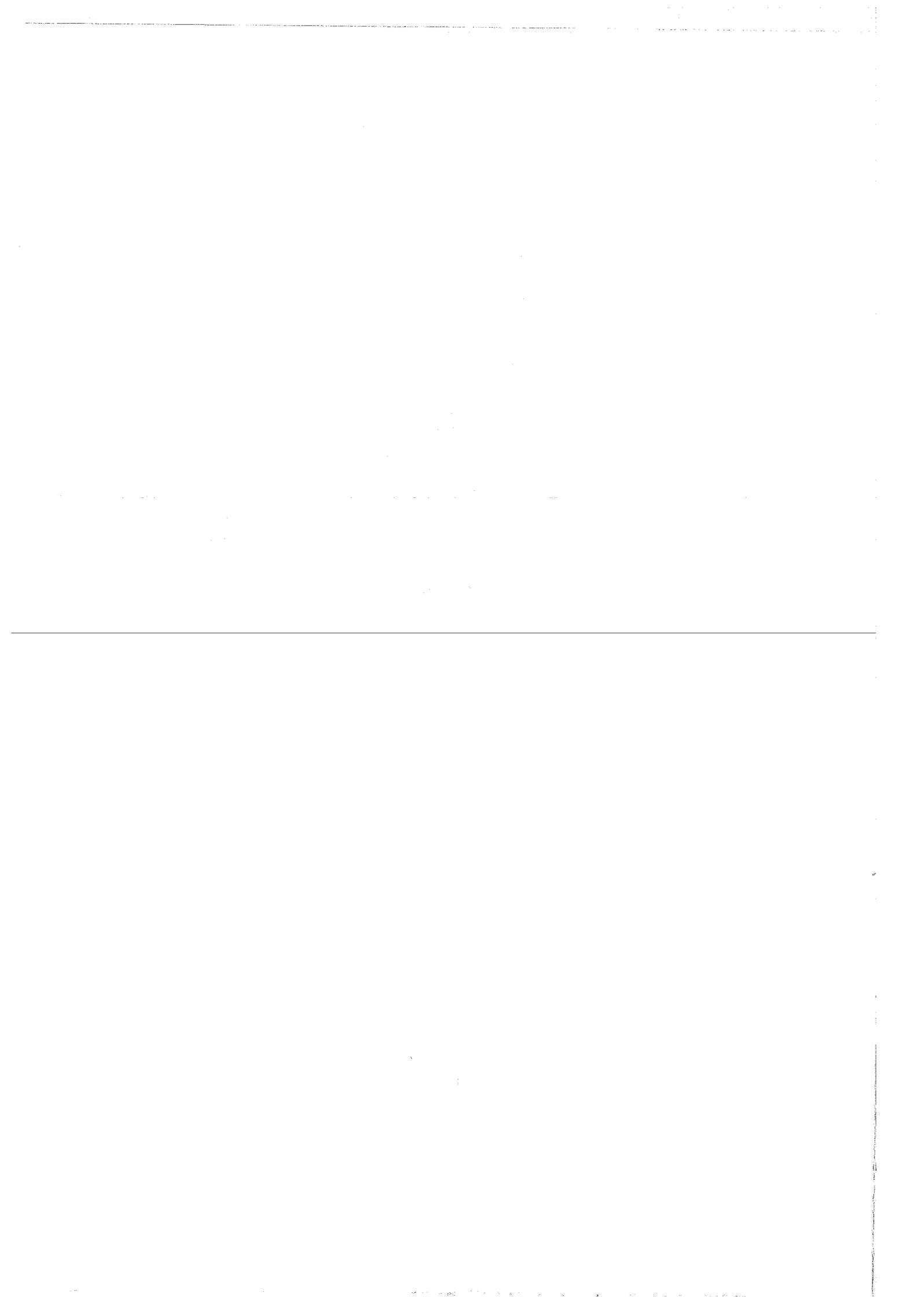
Zweiparametrische  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzanalyse mit einem  
Ge(Li)-NaJ(Tl)-Spektrometer am Karlsruher FR2-Reaktor

U. Fanger



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Januar 1969

KFK 887

Institut für Angewandte Kernphysik

---

Zweiparametrische  $\gamma$ - $\gamma$ -Koinzidenzanalyse mit einem  
Ge(Li)-NaJ(Tl)-Spektrometer am Karlsruher FR2-Reaktor

von

U. Fanger

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



## 1. Einleitung

In der Gammaskopie haben sich Ge(Li)-Dioden aufgrund ihrer vorzüglichen Energieauflösungseigenschaften für viele Anwendungen gegen die herkömmlichen NaJ(Tl)-Szintillations-Kristalle durchgesetzt. Insbesondere seit der Herstellung von Ge(Li)-Detektoren mit relativ großem Volumen sind auch Anordnungen mit Koinzidenz- bzw. Antikoinzidenz-Schaltungen<sup>1,2,3)</sup> interessant geworden.

Im folgenden soll eine Ge(Li)-NaJ(Tl)-Koinzidenzapparatur beschrieben werden, die an einem der Horizontalkanäle des Karlsruher Forschungsreaktors FR-2 installiert wurde und über einen Doppel-ADC mit dem Datenerfassungs-System MIDAS<sup>4,5)</sup> in Verbindung steht. Hiermit wurden im Rahmen von Kernstrukturuntersuchungen Koinzidenzbeziehungen der prompten Gammastrahlung nach dem Einfang thermischer Neutronen in extern angeordneten Targets gesucht. Über Ergebnisse solcher Experimente wurde an anderer Stelle<sup>6,7,8)</sup> berichtet.

## 2. Allgemeiner Aufbau des Koinzidenzspektrometers

Der prinzipielle Aufbau des Systems ist im Schema von Fig. 1 dargestellt.

Die thermalisierten Reaktorneutronen treffen senkrecht zur Detektorebene auf das zwischen den Meßköpfen befindliche (n, $\gamma$ )-Target. Die Dreierkombination von zwei NaJ-Szintillatoren und einer Ge(Li)-Diode in Bleikollimatorabschirmungen mit variablen Abständen zur Probe ermöglicht verschiedene Koinzidenz-

anordnungen. Hier soll nur die Koinzidenzkombination von Ge(Li)-Detektor mit einem der beiden NaJ-Kristalle beschrieben werden.

Eine natürliche Gliederung des elektronischen Systems ist durch spezifische Einheiten in den Analogzweigen für den NaJ-Detektor und die Ge(Li)-Diode gegeben. Die Zeitsignale werden mit weiteren logischen Bedingungen - wie z.B. hinsichtlich Impulsform und Energieausschnitt - in der üblichen Schnell-Langsam-Koinzidenztechnik verknüpft. Im ADC konvertiert werden alle Impulspaare, die gleichzeitig mit Signalen aus der langsamen Koinzidenzstufe eintreffen. Die digitalisierten xy-Meßwerte werden vom Computer sequentiell auf Magnetband geschrieben und gleichzeitig einparametrig im Kernspeicher akkumuliert.

### 3. Detektoren und elektronische Schaltungen

Die im Analogzweig für den 3" x 3" NaJ(Tl)-Detektor \*) verwendete Schaltung ist weitgehend konventionell. Das Signal der 8. Dynode des RCA-8054-Jalousie-Photomultiplier läuft über eine in Ref. 9) beschriebene Amplitudenstabilisierungsanordnung mit einem Regelfaktor 80 - 100, wird linear verstärkt und als bipolarer Impuls mit einer der Verarbeitungszeit für die logischen Signale angepaßten Verzögerung in den ADC gespeist. Das Zeitsignal im NaJ-Schaltungsweig wird aus dem SEV-Anoden-Impuls über zweifache Kabeldifferentiation und anschließende Impulsformung mit Tunnel-diode gewonnen. Die Gamma-Energieschwelle dieser Schaltung liegt für den oben genannten Photomultiplier bei ca. 80 keV.

Der gekapselte Coaxial-Ge(Li)-Detektor von RCA mit einem empfindlichen Volumen von  $34 \text{ cm}^3$  befindet sich in einem evakuierten Aluminium-Behältnis von 1 mm Wandstärke. Er steht über einen Kupferstab von 10 mm  $\varnothing$  mit flüssigem Stickstoff in einem 10 l-Reservoir

---

\*) Als "Peak-Tal"-Verhältnis für die höherenergetische  $\text{Co}^{60}$ -Linie wurde 7 : 1 gemessen.

in Wärmekontakt. Das Vakuum ( $\sim 10^{-7}$  Torr) wird durch eine 1 l/sec-Titan-Ionenzerstäuber-Pumpe aufrechterhalten, wobei der Pumpenstrom mit einem Alarmsystem gekoppelt ist.

Die große Detektorkapazität von 72 pF macht die Verwendung von vier parallel geschalteten Feldeffekt-Transistoren (FET) am Eingang des rauscharmen ladungsempfindlichen Vorverstärkers <sup>10)</sup> erforderlich. Zur weiteren Verbesserung (20 %) des Signal-Rausch-Verhältnisses wurde die FET-Vorstufe in der Detektorvakuumkammer mit an den Kühlfinger montiert. Das mit diesem Vorverstärker in Verbindung mit einem ORTEC-410-Hauptverstärker und 408-Nachverstärker gemessene Energieauflösungsvermögen betrug 5.6 keV <sup>\*)</sup> FWHM (bei einem elektronischen Anteil von 3.0 keV FWHM für C = 72 pF).

Der verwendete Germanium-Detektor weist neben seiner  $34 \text{ cm}^3$  großen i-Zone noch ein beträchtliches inaktives Volumen auf:  $4 \text{ cm}^3$  für das p-Core,  $7 \text{ cm}^3$  für die n-dotierte Außenzone. Da ein nicht unwesentlicher Anteil der primär durch die Gammastrahlung erzeugten Elektronen einen Teil des Weges in diesen inaktiven Zonen zurücklegt und damit zu nicht-Energie-linearen Impulsen führt, werden solche Zählereignisse verworfen. Die Entscheidung darüber, ob ein Ereignis registriert werden soll oder nicht, trifft eine in Ref. <sup>11)</sup> näher beschriebene Impulsform-Diskriminierungs-Schaltung. Damit läßt sich der Spektrums-Untergrund ohne Verlust in den Peakzählraten je nach Energiebereich bis um ca. einen Faktor 3 reduzieren.

Das Zeitsignal im Ge(Li)-Schaltungszweig wird nach dem ladungsempfindlichen Vorverstärker in einer "time-pick-off"-Einheit <sup>12)</sup> nach dem "leading-edge"-Prinzip abgeleitet. Durch sorgfältige Entkopplung des im Hauptverstärker weiterzuverarbeitenden Analogsignals ist die Schaltung ohne Einfluß auf die Energieauflösung. Der mit den Detektoren  $3'' \times 3''$  NaJ(Tl) und  $34 \text{ cm}^3$  Ge(Li) und einer  $\text{Co}^{60}$ -Quelle bei einer Energieschwelle von etwa 90 keV gemessene Koinzidenzwirkungsgrad ist für eine Koinzidenzauflösungszeit von

---

<sup>\*)</sup> Dieser Wert ist - auch in Anbetracht des relativ großen Detektorvolumens - nicht das mit heute käuflichen Detektoren erreichbare Optimum.

$2 \tau = 70$  ns größer als 95 % und für  $2 \tau = 25$  ns noch 50 %.  
Damit sind für ein Verhältnis  $\tau$  von zufälligen zu echten Ko-  
inzidenzen von maximal 1 % Quellstärken  $Q = \tau / 2\tau$  bis zu  
ca.  $10^5$ /sec zulässig.

#### 4. System und Meßablauf

Die Impulshöhen  $x \sqrt{NaJ}$  und  $y \sqrt{Ge(Li)}$  eines Koinzidenzereignisses  
xy, das alle (noch zu erörternden) Bedingungen erfüllt, werden von  
dem Doppel-Impulshöhenanalysator ND - 160 F (Nuclear Data) mit  
maximal  $2 \times 1024$  Kanälen in ein 20 Bit-Wort konvertiert. Mit vier  
zusätzlichen Bits zur Kennzeichnung des Experiments versehen, wird  
das Ereignis xy als 24 Bit-Wort über Puffer und Eingangsmultiplexer  
in den Rechner der CDC-160 A eingelesen <sup>13)</sup> und von dort einerseits  
unverarbeitet (blockweise) auf Magnetband geschrieben, andererseits  
on line sortiert und einparametrig in Form von sog. Projektions-  
spektren akkumuliert. Die Koinzidenzinformation muß in diesem Ver-  
fahren off line durch gruppenweise Aufsummation der Band-Rohdaten  
erarbeitet werden. Die Projektionsspektren können an verschiedenen  
oszillographischen Display-Stationen im Life-Display kontrolliert  
werden. Der für dieses Experiment zur Speicherung der Projektions-  
spektren eingeräumte Platz betrug 2 K zu 12 Bit. Mit einem experi-  
mentspezifischen Sortierprogramm (Subroutine) wurde folgende Kanal-  
zuteilung gewählt:

x-Spektrum: 256 Kan. "Reste" (Inhalte modulo 4096)  
          256 Kan. "Überläufe" (Inhalte à 4096)  
y-Spektrum: 1024 Kan. "Reste"  
          512 Kan. "Überläufe" (für die ersten 512 Kan.)

Damit ist für das 256 Kanal- und das 1024 Kanal-Spektrum (zur Hälfte)  
die effektive Speicherkapazität pro Kanal  $2^{24}$ . Die Speicherung der  
Daten in Projektionsspektren ist aus mehreren Gründen von größter  
Wichtigkeit: 1.) Sie vermitteln einen Überblick über die Gamma-  
linien, der dem bei der Aufnahme von Einzelspektren ähnelt.  
2.) Sie sind eine entscheidende Kontrolle während des Experiments.

3.) Sie dienen der Bestimmung der Koinzidenzfenstergrenzen für die Bearbeitung der Magnetbanddaten am Ende der Messung.

Der Umgang mit dem Betriebssystem MIDAS erfolgt über manuelle 2-stellige oktale Steuerbefehle, die an diesen Stationen eingegeben werden können. Für das Koinzidenzexperiment sind das im wesentlichen Anweisungen für Datenausgabe an periphere Geräte wie Locher oder Displaygeräte, Ein- und Ausschalten der Übertragung auf Magnetband, Löschen eines Kernspeicherbereiches etc.

Der relativ beschränkte Kanalbereich - durch Kernspeicherplatz und ADC bedingt - macht Einschränkungen des Gamma-Energiebereiches erforderlich. Der von der Auflösung der Detektoren diktierte Bereich ist für die Ge(Li)-Diode 1 MeV (bei 6 Kanälen über der Halbwertsbreite eines Peaks) und für den NaJ-Szintillator ca. 3.5 MeV. Die Aufgabe der Energieselektion erfüllen (s. Fig. 1) Einkanaldiskriminator und "Biased Amplifier", die auf die langsame Koinzidenz einwirken. - Die bei Einfang thermischer Neutronen in Kernen mittlerer Masse in Frage kommenden Gamma-Energien erstrecken sich bis ca. 10 MeV. Daher muß die Messung in mehreren Schritten durchgeführt werden. Mit Rücksicht auf fünf weitere an das MIDAS-System angeschlossene Experimente ist die Koinzidenzzählrate nach oben auf ca. 50/sec. beschränkt. Infolgedessen beträgt die Meßdauer eines solchen Schrittes einige Wochen, und eine gewisse Automatisierung des Meßablaufs ist unumgänglich.

Eine Timer-Einheit (s. Fig. 1) steuert über Spannungspegel die langsame Koinzidenz periodisch auf und zu für feste (vorwählbare) Meßintervalle (z.B. 20 min.) und anschließende Kurzpausen zum Ausdrucken von strategisch wichtigen Zwischenzählraten innerhalb des Systems. Der Zählrate der Spaltkammer als Neutronenmonitor kommt darin besondere Bedeutung zu: ein Absinken unter eine Schwelle blockiert die weitere Analyse, ein Anwachsen über die Schwelle (z.B. nach behobenem Reaktorschnellschluß) gibt die Analyse wieder frei.

## 5. Datenverarbeitung

Der erste Schritt in der Verarbeitung der auf Magnetband gespeicherten Meßdaten besteht in einer sortierenden Summation (mit dem MIDAS-Programm AUFSUM <sup>14)</sup>) nach Maßgabe der aus den Projektionsspektren bestimmten Koinzidenzfenster. Dabei werden - je nach der elektronischen Stabilität während der Messung - die Summationen getrennt über mehr oder weniger lange Meßzeitintervalle ausgeführt. Dieses Verfahren bedingt vor der weiteren Addition - da die Zwischenergebnisse nicht exakt übereinstimmen - als zweiten Schritt die numerische Kompatibilisierung <sup>15)</sup> der Zwischenresultate. Dadurch werden die im Verlauf einer Messung eingetretenen Verstärkungsänderungen und Nullpunktverschiebungen kompensiert, also durch eine lineare Transformation in den Kanälen K von der Form

$$K' = gK + K_0$$

rückgängig gemacht mit der Bedingung, daß die Summe der Kanalinhalte konstant bleibt.

Die erstrebte Information über Koinzidenzbeziehungen kommt entweder direkt aus den Endsummationsresultaten über einen Vergleich von Koinzidenzspektren zu benachbarten Fenstern oder aus der mehr quantitativen Doppelfenstermethode. Dieses üblicherweise während einer Koinzidenzmessung benutzte Verfahren wird mit Erfolg auch auf dem Wege der Datenverarbeitung nach der Messung angewandt. Es besteht darin, daß die zu den Seitenfenstern koinzidenten Spektren mit geeigneten Faktoren zu multiplizieren und von dem zum Hauptfenster koinzidenten Spektrum abzuziehen sind. Bei Verwendung eines Computers ist es von Vorteil, die Änderungen der Differenzspektren bei Variation der Faktoren zu beurteilen. Fig. 2 und 3 zeigen Beispiele für die Doppelfenstermethode aus einer  $(n, \gamma)$ -Untersuchung am Targetkern  $Fe^{57}$ . Die Koinzidenzen der beiden im NaJ-Spektrum nicht aufgelösten Linien bei 810 keV und 864 keV weisen charakteristische Unterschiede auf. Als letztes Beispiel zeigt Fig. 4 aus derselben Untersuchung NaJ-Koinzidenzspektren zu zwei Linien im Halbleiterspektrum.

## 6. Zusammenfassung

Die Koinzidenz-Kombination von Ge(Li)-Diode mit NaJ-Detektor stellt insbesondere im Gamma-Energiebereich von 100 keV bis ca. 3 MeV ein leistungsfähiges Spektrometer mit guter Auflösung dar. Die Kopplung der Apparatur an das Karlsruher Computer-System MIDAS ermöglicht zweiparametrische Messungen in voller Kanalauflösung. Die damit verbundenen Vorteile bestehen in der Simultanerfassung mehrerer Koinzidenzen und in der optimalen Positionierung der Koinzidenzfenster in Spektren guter Zählstatistik am Ende einer Messung.

Literaturverzeichnis

- 1) W. Michaelis und H. Küpfer, Nucl. Instr. Meth. 56 (1967) 181
- 2) G. Markus, Dissertation Karlsruhe (1967)
- 3) U. Fanger, Dissertation Karlsruhe (1968)
- 4) G. Krüger und G. Dimmler, KFK - 242 (1964)
- 5) G. Krüger, G. Dimmler, G. Zipf, H. Hanak und R. Merkel;  
Kerntechnik 8 (1966) 273
- 6) W. Michaelis, U. Fanger, D. Lange, G. Markus, H. Schmidt,  
C. Weitkamp; KFK-562 (1967)
- 7) U. Fanger, G. Markus, W. Michaelis, H. Ottmar, H. Schmidt;  
KFK-616 (1967)
- 8) U. Fanger, W. Michaelis, H. Schmidt und H. Ottmar;  
Nucl. Phys. (im Druck)

---

- 9) U. Tamm, Nucl. Instr. Meth. 40 (1966) 355
- 10) U. Tamm, KFK-509 (1967)
- 11) U. Tamm, Nucl. Instr. Meth. 48 (1967) 301
- 12) W. Michaelis, Nucl. Instr. Meth. 61 (1968) 109
- 13) G. Krüger und G. Zipf, KFK-371/65
- 14) G. Würz, Externer Bericht (IAK), in Vorbereitung
- 15) V. Haase, interne Mitteilung, unveröffentlicht

Abbildungen

Fig. 1 Schema des Ge(Li)-NaJ-Koinzidenzspektrometers.

Fig. 2 Halbleiter-Koinzidenzspektren bis 1.3 MeV zu NaJ-Fenstern.  
Linien im Fenster v.u.n.o.: 810 keV und 864 keV; 810 keV;  
864 keV.

Fig. 3 Halbleiter-Koinzidenzspektren von 1.0 MeV bis 3.4 MeV zu  
NaJ-Fenstern. Linien im Fenster v.o.n.u.: 810 keV und 864 keV;  
810 keV; 864 keV.

Fig. 4 NaJ-Koinzidenzspektren zu Halbleiterfenstern.  
Linien im Fenster: oben 810 keV; unten 1674 keV.

---

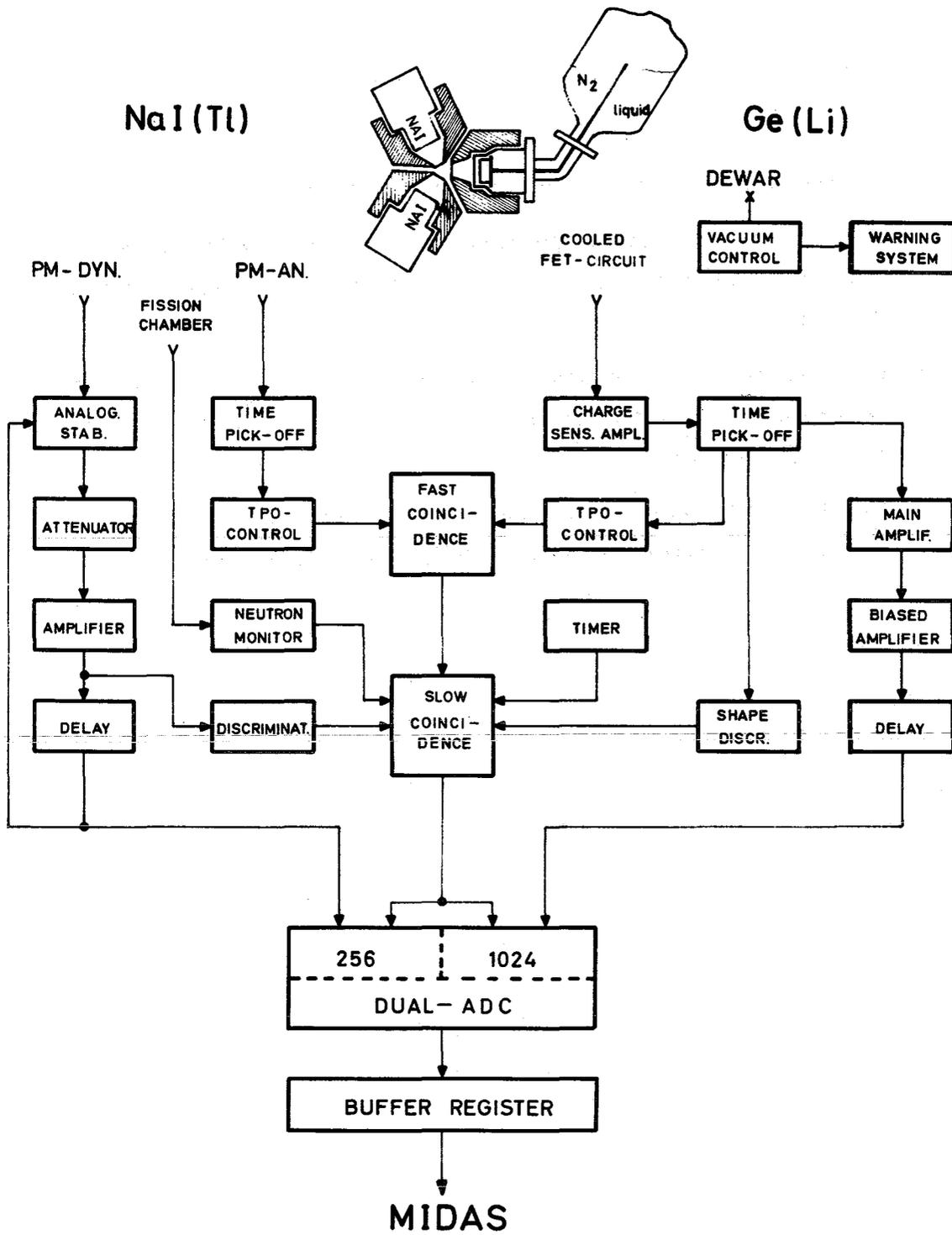


Fig. 1

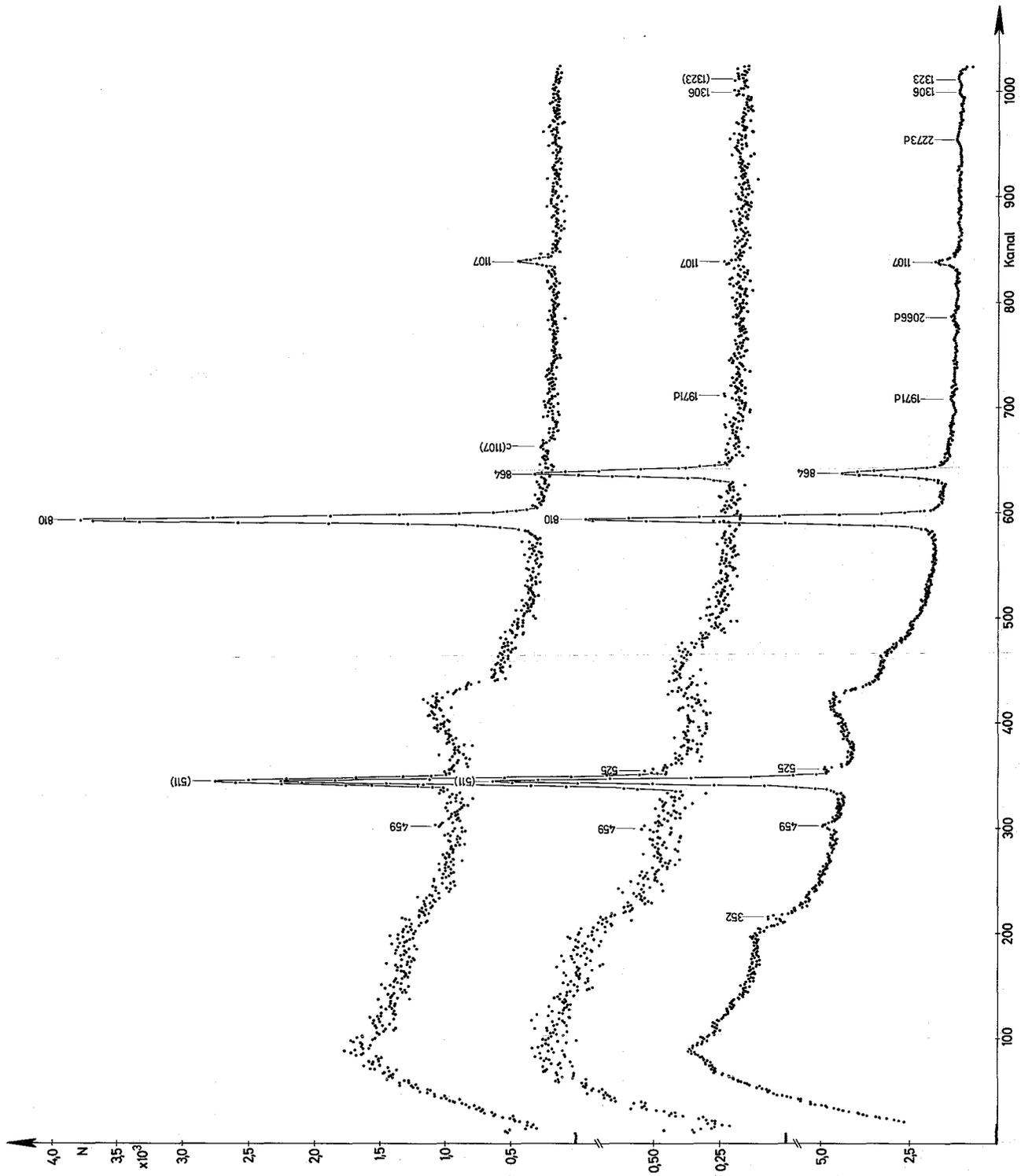


Fig. 2

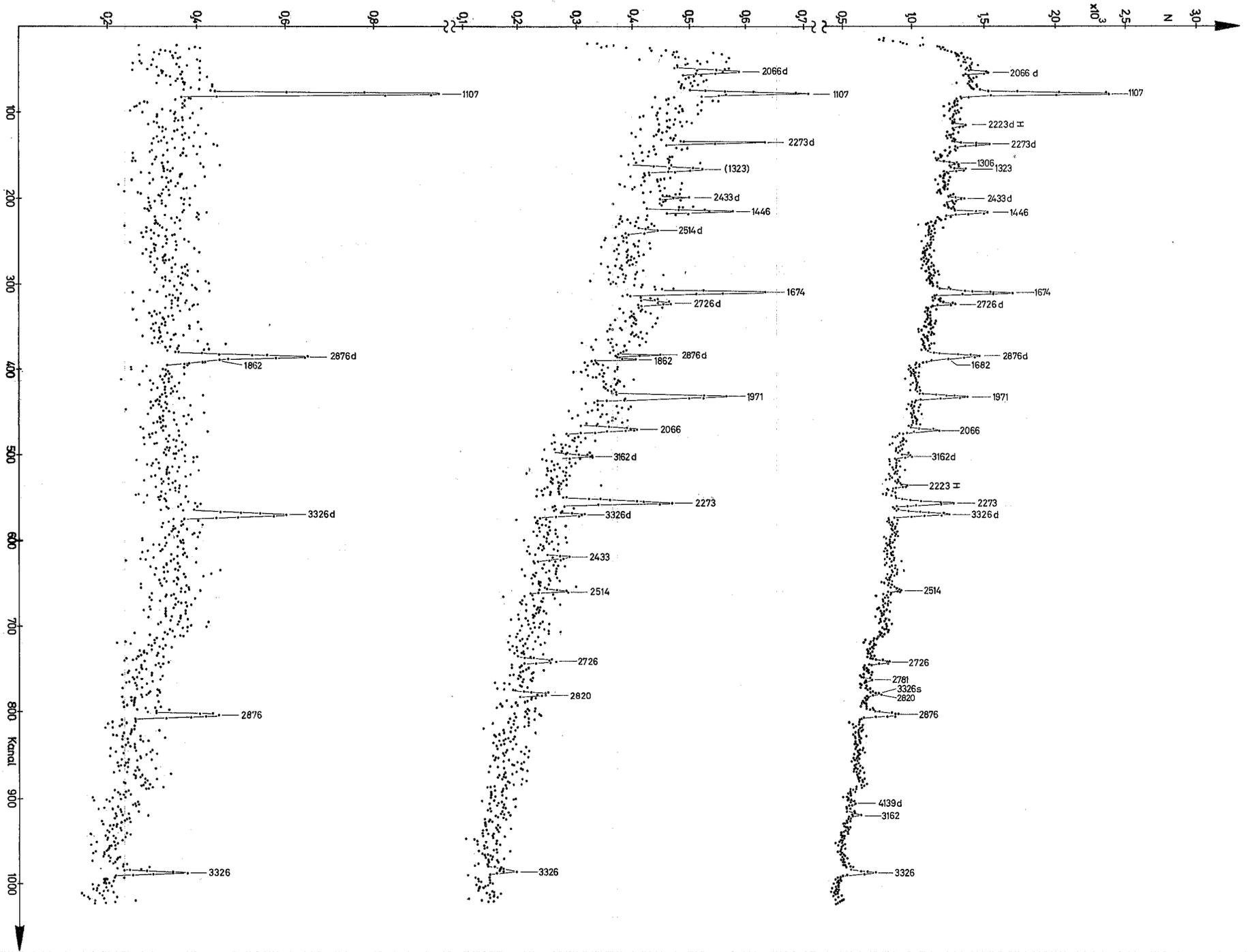


Fig. 3

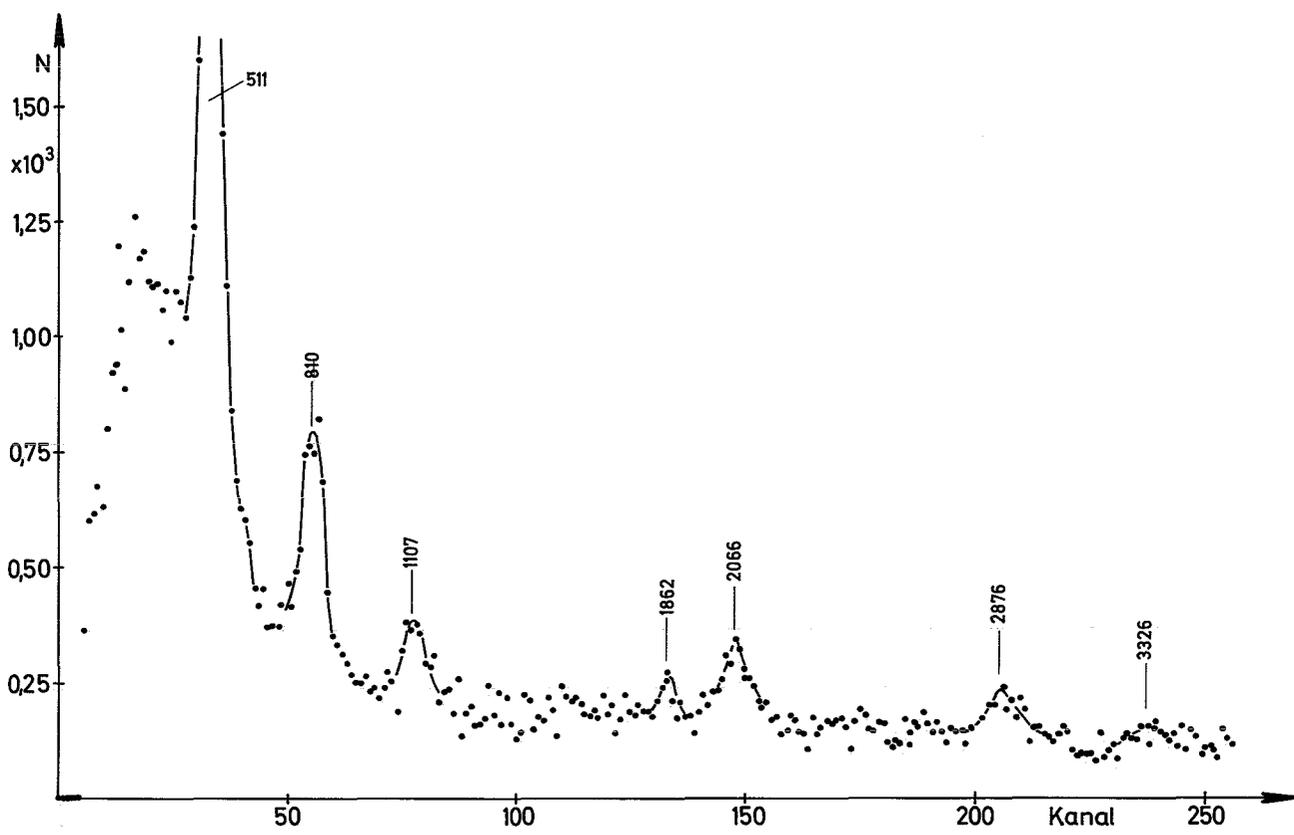
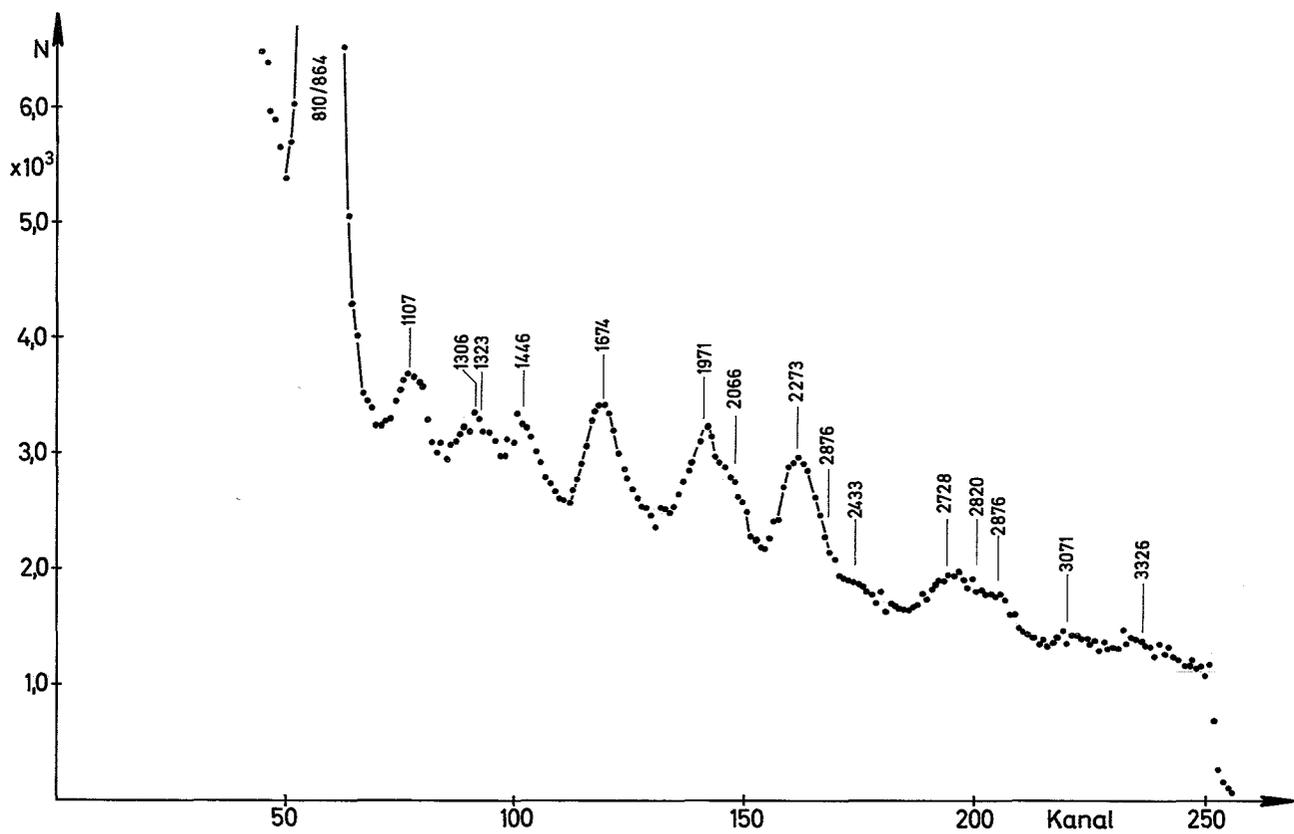


Fig. 4