

Praktikum für  
Fortgeschrittene Hauptfachphysiker

# Gammapektrometrie

Physikalisches Institut der Universität Bern

K. Lange, B. Lüthi

9. Februar 2005

## Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsvorbereitung	1
2	Experimentelle Aufgaben	3
	Literatur	5
	Anhang: Kurzanleitung Quantum MCA	6

# 1 Versuchsvorbereitung

Die  $\gamma$ -Spektroskopie wird beispielsweise in der Umweltüberwachung (Strahlenschutz) oder in der Oberflächen- und Volumenanalytik eingesetzt. Dabei lässt die charakteristische  $\gamma$ -Strahlung, die bei elektromagnetischen Übergängen angeregter Atomkerne entsteht, eine Identifizierung von Radionukliden zu oder bei geeigneter Anregung auch den Nachweis stabiler Isotope einer Probe (z. B. Neutronenaktivierungsanalyse). Im Rahmen des vorliegenden Praktikumversuchs soll die Methodik zur Analyse unbekannter radioaktiver Proben erarbeitet und angewendet werden. Hierzu sind zum einen Kenntnisse über die zugrunde liegenden Kernzerfallsprozesse und zum anderen über die verwendeten Detektorsysteme notwendig. Die entsprechende Vorbereitung kann dabei anhand der folgenden Schlagwörter und Übungsaufgaben erfolgen:

## 1 Zerfallsprozesse instabiler Kerne

- 1.1  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zerfall, Elektroneneinfang (EC: Electron Capture)
- 1.2  $\gamma$ -Zerfall und innere Konversion (Röntgenübergänge), Multipolstrahlung
- 1.3 Zerfallsschemata, Verzweigungsverhältnisse
- 1.4 Aktivität (Quellenstärke), Zerfallsgesetz, Zerfallskonstante, mittlere Lebensdauer, Halbwertszeit
- 1.5 *Übung: Im Praktikum steht eine  $^{152}\text{Eu}$ -Quelle zur Verfügung. Ermittle anhand des Zerfallsschemas die möglichen Zerfallskanäle aus dem Grundzustand dieses Isotops und die zugehörigen Verzweigungsverhältnisse. Welchem Zerfallsprodukt ist der charakteristische 344.3 keV- $\gamma$ -Übergang zuzuordnen? Welcher Bruchteil der Zerfälle einer  $^{152}\text{Eu}$ -Quelle bestimmter Aktivität führt zu diesem Übergang? Bestimme anhand der Spin- und Paritätsänderung den Multipolcharakter der dazugehörigen  $\gamma$ -Strahlung.*

## 2 Wechselwirkung von $\gamma$ - und Röntgenstrahlung mit Materie

- 2.1 Photoeffekt, Compton-Streuung und Paarerzeugung
- 2.2 Wirkungsquerschnitt, Winkel- und Energieverteilungen, Schwächungskoeffizient
- 2.3 Wirkungsgrößen: Dosis (Energie-, Ionen- und Äquivalentdosis)

### 3 Detektorsysteme

- 3.1 Detektorcharakteristika: Nachweisvermögen (efficiency), Energieauflösung (resolution), „Peak-to-Compton Ratio“
- 3.2 Szintillatorzähler (Praktikum: NaJ(Tl)-Szintillator), Dotierung (Aktivierung) von Ionenkristallen, Photomultiplier
- 3.3 Halbleiterdetektoren (Praktikum: intrinsischer n-Typ-Germanium-Koaxialdetektor)
- 3.4 Detektorelektronik: Pulsverstärker, Analog-Digital-Konverter, Vielkanal-Analysatoren
- 3.5 *Übung: Grundsätzliche Wechselwirkungsprozesse, die in einem Halbleiterdetektor zur Erzeugung von Ladungsträgern führen können, wurden unter Punkt 2 angesprochen. Welche Spektrenform (Energieverteilung) ist für einen Halbleiterdetektor endlicher Grösse im Falle monoenergetischer  $\gamma$ -Strahlung von z. B. 1.5 MeV zu erwarten. Beachte, dass nicht alle Absorptionsprozesse zum sogenannten „Full Energy Peak“ beitragen.*
- 3.6 *Übung: Der im Praktikum verwendete Ge-Detektor hat ein 0.5 mm dickes Beryllium-Eintrittsfenster. Welche Schwächung erleidet die 122.1 keV-Strahlung einer  $^{57}\text{Co}$ -Quelle beim Durchtritt durch dieses Fenster? Vergleiche diese Schwächung mit denjenigen für Aluminium- und Bleifolien gleicher Dicke. Wie gross ist die Transmission von 1333 keV-Strahlung ( $^{60}\text{Co}$ ) durch einen 5 cm dicken Bleiziegel.*

## 2 Experimentelle Aufgaben

1. Kurze Beschreibung der Messapparatur (Blockdiagramm)
2. Eine genaue Energiekalibrierung des Ge-Detektorsystems ist für die eindeutige Identifizierung einzelner Linien in komplexen Spektren unbekannter Proben notwendig. Verwende zur Kalibrierung die 122.1 keV- und die 1332.5 keV-Linie einer  $^{57}\text{Co}$ - bzw.  $^{60}\text{Co}$ -Quelle.
3. Die Energieauflösung von Ge-Detektoren wird typischerweise anhand der zuletzt genannten  $\gamma$ -Linien spezifiziert. Welche Energieauflösung besitzt der im Praktikum verwendete Ge-Detektor. Wähle die Integrationszeiten für die entsprechende Messung so gross, dass der Fehler der jeweiligen Linienintegrale bei etwa 3 % (oder darunter) liegt.
4. Die Energieauflösung von NaJ(Tl)-Detektoren wird üblicherweise für die 661.6 keV-Linie von  $^{137}\text{Cs}$  angegeben. Vergleiche die Energieauflösung des NaJ(Tl)-Detektors mit der des Halbleiterdetektors. Wie wird die Spektrenform des NaJ(Tl)-Detektors durch Änderungen der Hochspannung beeinflusst?  
*Beachte: Der Detektorphotomultiplier (Detektortyp Harshaw 8S8/2E bzw. 8S8/2A) ist für eine Maximalspannung von 1200 V ausgelegt.*
5. Identifizieren Sie das Radionuklid eines unbekanntes Quellenpräparats (Ausgabe durch den Assistenten).
6. Die letzte Aufgabe kann frei aus drei Möglichkeiten ausgewählt werden:
  - (a) Messung an einer eigenen Probe oder an einer Probe, die im Praktikum zur Verfügung steht (Assistenten befragen). Für diese Aufgabe können vom Assistenten u.a. Aktivkohlefilter geliehen werden, um Radon aufzusammeln und nachzuweisen. Darüber hinaus kann speziell auch das Umweltpräparat SRM4350B des „National Bureau of Standards“ analysiert werden. Hierbei handelt es sich um etwa 85 g einer gefriergetrockneten Flusssedimentprobe, die unterhalb eines Spaltreaktors aus dem Colorado gewonnen wurde. In den meisten Fällen werden die Proben nur sehr geringe Aktivitäten aufweisen. Entsprechend lange Messzeiten zur Gewährleistung einer ausreichenden Zählstatistik sind daher einzuplanen. Eine genaue Untergrundbestimmung und -korrektur ist hier notwendig. Die Spektren von Umweltproben weisen i. A. eine Vielzahl von Linien auf. Die Identifikation einzelner Radionuklide aufgrund

dieser Spektren bedarf daher auch entsprechender Vorüberlegungen zur Quelle bestimmter Nuklide. Z.B. ist es sinnvoll, in der genannten Flusssedimentprobe gezielt nach Produkten aus dem Zerfall von  $^{238}\text{U}$  zu suchen.

- (b) Messung des energieabhängigen relativen Nachweismögens des Ge-Detektors. Bestimmung des Absolutnachweisvermögens mit Hilfe einer kalibrierten Standardquelle. Wie groß ist das relative Nachweisvermögen des Ge-Detektors bezogen auf das absolute Nachweisvermögen eines  $3'' \times 3''$ -NaJ(Tl)-Detektors für die 1,33 MeV-Strahlung einer  $^{60}\text{Co}$ -Quelle in einer Entfernung von 25 cm. Der Germaniumkristall hat einen Durchmesser von etwa 55 mm und ein Volumen von etwa  $75 \text{ cm}^3$ . Der Kerndurchmesser (inaktives Volumen) beträgt etwa 8 mm. Die Entfernung des 0.5 mm dicken Be-Fensters zum Kristall beträgt etwa 5 mm.

*Bem.: Teile der Aufgaben a) und b) können bei Interesse auch kombiniert werden, um Aussagen über die Absolutmenge von Radionukliden in einer unbekannt Probe zu treffen.*

- (c) Mit einem speziellen Versuchsaufbau im Praktikum kann die Energieabhängigkeit der Comptonstreuung vom Streuwinkel untersucht werden. Die Strahlung einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle wird dabei an einem Aluminiumblech gestreut und die Streustrahlung mit einem Szintillator für verschiedene Streuwinkel ( $70^\circ$  bis  $150^\circ$ ) nachgewiesen. Die direkte Strahlung wird mit Bleiziegeln abgeschirmt. Zur Untergrundkorrektur sollen die Messungen jeweils mit und ohne Streublech durchgeführt werden. Vergleiche die theoretisch für einen Streuwinkel von  $90^\circ$  zu erwartende Zählrate mit dem entsprechenden Messergebnis (Durchmesser des Szintillatorkristalls: 44.5 mm, Dicke: 50 mm).

*Beachte: Für dieses Experiment wird eine Quelle mit einer sehr hohen Quellstärke von etwa  $3.7 \times 10^7 \text{ Bq}$  (Bezugsdatum 1981) verwendet. Bitte deshalb ein Dosimeter tragen und die Quelle bei Nichtbenutzung allseitig abschirmen.*

## Literatur

Zur kernphysikalischen Vorbereitung sind allgemeine Lehrbücher der Kernphysik ausreichend, z. B.:

1. P. Marmier, Kernphysik I (Verlag der Fachvereine Zürich, Zürich, 1980)
2. T. Mayer-Kuckuk, Kernphysik (B.G. Teubner, Stuttgart, 1984)

Im Praktikumsraum liegt aus:

3. R. D. Evans, The atomic nucleus (McGraw-Hill, New York, 1955)

Speziell zum Verständnis und der Anwendung von Detektoren zu empfehlen sind (Auslage im Praktikumsraum):

4. G.F. Knoll, Radiation detection and measurement (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989)
5. R. L. Heath, Scintillation Spectrometry (Phillips Petroleum Co., Idaho Falls, 1964)

Literatur zur Auswertung und Interpretation der Messungen:

6. C. M. Lederer and V. S. Shirley (eds.), Table of Isotopes (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1978)
7. G. Erdtmann and W. Soyka, The gamma rays of the radionuclids (Verlag Chemie, Weinheim, 1979)
8. A. Rakow, Tabelle zur Identifizierung unbekannter Gammaspektren (Verlag Karl Thiemig KG, München, 1962)
9. Bundesamt für Gesundheitswesen, Radonprogramm Schweiz „Rapros“, Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987 - 1991, Bern, 1992 (Auszug beim Assistenten erhältlich)

Sonstige:

10. M. Oberhofer, Strahlenschutzpraxis, Teil III (Verlag Karl Thiemig KG, München, 1968), [Praktikumsauslage]
11. H. A. Helms, Semiconductor radiation detectors [Firmenschrift Princeton Gamma-Tech, vom Assistenten auszuleihen].

*Hinweis: Schwächungskoeffizienten für verschiedene Materialien als Funktion der Gammaenergie finden sich z. B. im „Handbook of Physics and Chemistry“, das ebenfalls im Praktikumsraum aufliegt.*

## Anhang: Kurzanleitung Quantum MCA

Beim Versuch  $\gamma$ -Spektroskopie wird eine Oxford Instruments PCA III-Karte in einem PC zur Datenerfassung verwendet. Auf der Karte sind ein 100 MHz-Analog-Digital-Wandler und ein Vielkanalanalysator integriert. Die Karte ist mit einem 4K-Speicher ausgestattet, erlaubt also die Aufnahme von Spektren mit maximal 4096 Kanälen.

Die Karte wird mit Hilfe der Windows95-Software Quantum MCA betrieben. Diese Software dient auch zur Darstellung und Bearbeitung der Messdaten auf dem PC. Das MCA-Programm kann mit einem Doppelklick auf das entsprechende Icon ausgeführt werden. Die vorliegende Kurzanleitung soll eine Übersicht über die wichtigsten im Praktikum gebrauchten Befehle geben. Details sind dem Quantum-Handbuch zu entnehmen, das als Kopie im Praktikumsraum ausliegt. Zum Speichern von Spektren und Arbeitsfiles sollte sich jede Praktikumsgruppe einen Ordner im Unterverzeichnis C:\GAMMA-SPEKTROMETRIE\ neu anlegen. Zur eindeutigen Identifikation sollte dieser Ordner wie im folgenden Beispiel benannt sein: „KL\_Jan98“, d. h. aus einem beliebigen Kürzel und dem Monat und Jahr, in dem der Versuch begonnen wurde.

### Main Screen

Nach dem Programmstart erscheint der Hauptbildschirm, über den alle wichtigen Informationen zur Spektrenaufnahme und -darstellung sowie alle Programmkommandos zugänglich sind.

**Menu Bar** Die einzelnen Menüs werden weiter unten besprochen.

**Tool Bar** Symbolleiste für die schnelle Ausführung häufiger Befehle:

*Spectrum Display & Memory Control* (1. Symbol): Im Speicher des Rechners können bis zu 4 Spektren gleichzeitig verarbeitet werden (spectrum buffers). Hier werden die Inhalte der einzelnen Buffer angezeigt. Es kann das primary spectrum ausgewählt werden, auf das sich alle Messbefehle beziehen (normalerweise Spektrum S(1)). Einzelne Buffer können gelöscht oder mit Spektren überschrieben werden.

*Radiation Marker*: Über die Symbolleiste des Hauptbildschirms können Markierungen an Linienlagen für Radionuklide der integrierten Datenbibliothek in die Spektrengraphik eingefügt werden. Die Markierungen können als „Fingerprints“ zur Linienidentifikation ausgenutzt werden.

**Control Panel** auf der rechten Seite:

*Acquire, Stop, Erase*: Start und Stop einer aktuellen Messung, Löschen des aktuellen Messspektrums (primary spectrum).

*Kanalanzeige*: Es wird nur die Anzeige beeinflusst, nicht die Messbereiche selbst.

Horizontale Kontrollen: Einstellung des angezeigten Kanalbereichs. Bem.: Mit Hilfe einer Markierung bei gedrückter rechter Maustaste kann ein Bereich ebenfalls expandiert werden.

Vertikale Kontrollen: Einstellung linearer oder logarithmischer Anzeige der Kanalinhalt (Zählereignisse).

*Presets*: Hier kann die Messzeit eingestellt werden, Real-Time (Laborzeit) oder Live-Time (Zeit, während dessen die Rechneinsteckkarte tatsächlich Messsignale verarbeiten konnte). Zählraten (counts/sec.) sollten immer auf der Basis von Live-Times angegeben werden, falls z. B. verschiedene Spektren interpretiert werden sollen.

Zusätzlich kann die Messung nach dem Erreichen eines bestimmten Wertes für ein Integral über einen festgelegten Kanalbereich (ROI) automatisch beendet werden. Diese Voreinstellung ist sinnvoll, falls z. B. ein bestimmter statistischer Fehler für die Intensität einer interessierenden Linie im Spektrum vorgegeben werden soll.

*ROIs*: Manipulation von ROIs (region of interest): Typzuordnung, Erstellen, Löschen, ...

Mit Hilfe von *Edit* kann ein ROI mittels gedrückter linker Maustaste markiert werden.

*Controls*: Einstellung des *Conversion Gain*, d. h. des Kanalbereichs, in den die eingehenden Detektorsignale eingeordnet werden. Als Operationsmode wird nur *emphPHA* benötigt. Die Einstellungen, die unter *More* zugänglich sind sollten nur vom Assistenten vorgenommen werden, da hier die Elektronik selbst beeinflusst wird.

*Display*: Darstellungsoptionen (Punkte, Balken, Gitterlinien, ...).

*Info*: Info über Datum, Zeit der Messung, Zähl dauern, Eingabe eines Kommentars zum Spektrum (Spectrum ID).

**Status Bar** Anzeige von Informationen über das aktuelle Spektrum. Befindet sich der Cursor innerhalb eines ROIs, wird auch das Integral über den entsprechenden Kanalbereich angezeigt, sowie, falls eine Linie markiert wurde, ihre Schwerpunktsposition und Halbwertsbreite (FWHM).

## File Menu

**Load Spectrum** Einlesen eines gespeicherten Spektrums, Standardformat „ANS“, in den aktuellen Bufferbereich. Einlesen in den Bereich, der aktuell der Mess-Hardware zugeordnet ist, ist nicht möglich! Alle Spektrumsinformationen (Messdatum, Zählzeiten, Kalibrierung, ROIs, etc.) werden mitgeladen und z. B. ROI-Integrale neu ausgewertet. Das aktuelle Live-Spektrum im Buffer 1 darf nicht mit einem statischen Spektrum von der Festplatte überschrieben werden!

**Load to Buffer** Wie *Load Spectrum*, jedoch Einlesen in nächsten freien Buffer (siehe Tool Bar: Memory Control).

**Save as Spectrum** Spektren im Praktikum bitte im Ordner C:\GAMMA-SPEKTROMETRIE\gruppenordnername\ (s. S. 6) ablegen. Das Standardformat ist „ANS“.

**Save Display as Metafile** Im Metafileformat abgespeicherte Spektrengraphiken können in andere Windows-Anwendungen (z. B. WinWord oder CorelDraw) importiert werden.

**Print Spectrum** Orientierung des Spektrenausdrucks hängt von aktueller Druckereinstellung ab (Einstellung im *Printer Setup*).

**Exit** Reguläres Beenden des Programms. Vor dem Ausschalten des Rechners sollte das Programm über *Exit* verlassen werden. Windows95 sollte regulär über den ShutDown-Befehl verlassen werden.

## Edit Menu

**Library** Das Softwarepaket enthält auch eine Sammlung mit Zerfallsdaten von Radionukliden (Linienenergien, relative Intensitäten usw.). Diese Daten können hier mit Hilfe eines Editors eingesehen werden, stehen jedoch auch über die Symbolleiste des Hauptbildschirms zur Verfügung. Die Daten sollen natürlich auf keinen Fall verändert werden. Falls dies aus Versehen doch passieren sollte: die Assistenten beißen nicht und können wieder die Original-Bibliothek installieren. Ausserdem: Für die Richtigkeit der Software-Datensammlung gibt es keine Garantie. Benutzt daher auf jeden Fall auch die Tabellenwerke, die im Praktikum aufliegen.

## View Menu

**Setups** Zeigt/druckt alle Informationen zu einem Spektrum in Berichtform, u. a. Zählzeiten, Presets und auch die Energiekalibrierung.

**Marker Menu** Über die Symbolleiste des Hauptbildschirms können Markierungen an Linienlagen für ausgewählte Radionuklide in die Spektrengraphik eingefügt werden. Die Form der Markierungen wird hier festgelegt.

## Acq Parm Menu (Acquire Parameters Menu)

**Auto Calibrate** Steht nicht zur Verfügung, erfordert spezielle Hardware.

**Manual Calibrate** Bestimmung der Energiekalibrierung, d.h. die Zuordnung von Energie und Kanalnummer: Beachte, dass Änderungen an der Elektronik, z. B. anderer Detektor oder Änderungen an den Verstärkereinstellungen, neue Energiekalibrierungen notwendig machen.

*Two Point:* Lineare Kalibrierung mit Hilfe der Kanalnummern von 2 Linien und den entsprechenden Energien.

*ROI Centroids:* Für eine möglichst genaue Energiekalibrierung können Spektrenbereiche mit bekannten Linien als ROIs markiert werden (Jeweils ein ROI pro Linie definieren). Für die Kalibrierung können beliebige ROIs ausgewählt und die Energien eingetragen werden. Der Linienschwerpunkt wird automatisch bestimmt (Centroid). Bei genügend vielen Linien bekannter Energie ist neben der linearen Anpassung auch eine quadratische möglich.

**Save/Load Setup** Speichern und Laden von Messparametern des primären Spektrums. Da hierbei alle Kalibrierdaten gespeichert werden, wird insbesondere auch ein Wechsel zwischen mehreren Detektorsystemen ohne Neukalibrierung ermöglicht, falls die Elektronikeinstellungen unverändert bleiben. Ausnahme: ROIs werden hierbei nicht mitgespeichert (Befehle Save/Load/Merge ROIs).

## Tools Menu

**Spectrum Calc** Einfache Rechnungen mit Spektren durchführen.

- Operanden: Spektren  $S$  und Live-Times  $L$
- Operatoren: +, -, · und /.

Der *Spectrum Calculator* kann speziell auch zur Untergrundreduktion verwendet werden.

Bsp.: Probenspektrum in Buffer  $S(1)$  und Untergrundspektrum in  $S(2)$ , zugehörige Live-Times  $L(1)$  und  $L(2)$ . Mit „ $S(3) = S(1)/L(1) - S(2)/L(2)$ “ erhält man im Buffer  $S(3)$  das untergrundreduzierte Spektrum in der Form einer Zählrate (counts/sec) als Funktion der Energie.

**Channel/ROI Data** Anzeige, Ausdruck und ASCII-Speicherung (ASCII-Datenexport) der Kanalinhalt eines Spektrums bzw. von ROI-Detailsinformationen.