**Humboldt-Universität zu Berlin**
**Institut für Physik**
**Praktikum für Fortgeschrittene**

# HLD: Gamma-Spektroskopie II - Halbleiterdetektor

Vers. 1.0, 22.4.2004
Thomas Hengstebeck, Nikolaj Pavel

## 1 Thema und Ziel des Versuchs:

Gamma-Spektren im Bereich von einigen keV bis einigen 10 MeV können von verschiedenen Typen von Detektoren gemessen werden: Szintillatordetektoren (s. Versuch B2), Proportionaldetektoren, Ionisationskammern und Halbleiterdetektoren. Dabei erzielt man mit Halbleiterdetektoren die besten Werte für die Energieauflösung, d.h. die präziseste Messung der Energie der Spektrallinie in einem Gamma-Spektrum. Insbesondere mit Ge-Detektoren erreicht man sehr hohe Energieauflösungsvermögen, die es erlauben ausserordentlich komplizierte Gamma-Spektren zu analysieren.

In diesem Versuch soll ein Germanium-Halbleiterdetektor zur Messung von Spektren einiger Isotope (mit Gamma-Emission) eingesetzt werden. Die Spektren sollen interpretiert und quantitativ ausgewertet werden.

Einige wichtige charakteristische Parameter des verwendeten Germanium-Halbleiterdetektors sollen bestimmt werden und die Aktivität sowie Dosisleistung einer der Gamma-Quellen abgeschätzt werden. Ferner soll die Energie- und Materialabhängigkeit des Gamma-Absorptionskoeffizienten gemessen und dargestellt werden.

## 2 Überblick über den Versuchsaufbau:

Für diesen Versuch steht ein Reinst-Germanium-Halbleiterdetektor zur Verfügung, der mit einem Vorratsbehälter (Dewargefäß für flüssigen Stickstoff zur Kühlung) verbunden ist. Die Ausgangssignale de Halbleiterdetektors werden über einen rauscharmen Vorverstärker und einen nachgeschalteten Hauptverstärker verarbeitet und einem Impulshöhenanalysator zugeführt.

Zusätzlich steht ein Pulsgenerator zur Verfügung, mit dem elektronische Pulse mit definierter Pulshöhe und Gesamtladung auf den Hautverstärker gegeben werden können. Auf

diese Weise kann der Einfluss der Elektronik des Datenakquisitionssytems auf die Energieauflösung und die Linearität der Beziehung zwischen Pulshöhe und MCA-Kanalnummer bestimmt und geprüft werden (MCA=Multi Channel Analyser).

Die Datenakquisition und die Kontrolle der Betriebsparameter des Detektors und des Hauptverstärkers werden von dem Softwarepaket 'MAESTRO' kontrolliert, das auf dem PC, der zum Versuchsaufbau gehört, installiert ist. Insbesondere übernimmt dieses Programm die Funktion eines MCA (Multi Channel Analyser) zur Erfassung des Pulshöhenspektrums. Es stellt auch eine Reihe von Funktionalitäten zur weitergehenden Verarbeitung des Pulshöhenspektrums zur Verfügung, darunter auch die Option, ein Pulshöhenspektrum oder einen Teil davon als Datei abzuspeichern. Von dieser Option sollte Gebrauch gemacht werden, um die Gamma-Spektren, oder zumindest die relevanten Teile davon, auf externen Dateien abzuspeichern und im Nachhinein ('offline') mit externer Software darzustellen und auszuwerten.

Eine ausführliche Beschreibung der möglichen Kommandos liegt am Versuchsaufbau aus. (Vieles erschliesst sich durch den Menu-gesteuerten Aufbau der Nutzeroberfläche).

# 3 Technische Hinweise

## 3.1 Vorbereitende Massnahmen

1. Überprüfen Sie mit dem Digital-Multimeter die Temperatur des Ge-Detektors über die Messung des Widerstandswertes an dem Temperatursensor. Sie müssen dazu einen kleinen Knopf an der Unterseite des eigentlichen Detektoraufsatzes auf dem Dewargefäß drücken, wodurch die elektrische Verbindung zur Leitung zum Digitalmultimeter hergestellt wird. Zwei Wertepaare dazu sind in der Tabelle 1 unten gegeben. Dazwischen kann in guter Näherung linear interpoliert werden. Die Temperatur sollte niedriger als ca. 85 Kelvin sein.

   **Auf keinen Fall die Hochspannung am Ge-Detektor anlegen, bevor dieser nicht ausreichend gekühlt ist.**

   Wenn Sie Anschlussmessungen an anderen Tagen planen, sprechen Sie das bitte mit den Betreuern ab.

   Bitte beachten Sie, dass der Temperatursensor nur aktiviert werden kann, wenn das Datenakquisitionsgerät '92X Spektrum Maestro' AUSgeschaltet ist.

| Widerstandswert $[m\Omega]$ | Temperatur des Sensors |
|---:|---:|
| ca. 490-500 | Raumtemperatur (nach längerer Ruhezeit) |
| ca. 150 | 118 Kelvin (nach mehrfach Kühlung mit flüssigem $N_2$ |

Tabelle 1: Wertepaare Widerstandswert - Temperatur für den Temperatursensor am Ge-Detektor

2. Strahlungsmessgerät 92X Spectrum Master einschalten.
   Spannungsversorgungseinheit im Crate mit Pulsgenerator einschalten

3. PC einschalten und unter account: fprakt, password: vielspass einloggen.
   Programm Maestro per click starten.

4. Überprüfen Sie die Signalverbindungen zwischen Detektor und der Datenakquisitionselektronik (Machen Sie eine Skizze davon für Ihr Protokoll und kommentieren Sie diese)

5. Über das Programm 'Maestro' können folgende Betriebsparameter eingestellt werden (Menu *Acquire* : $->$ *Adjust Controls* )
   – Grobverstärkung (von Hauptverstärker) Richtwert: 40
   – Feinverstärkung (von Hauptverstärker) Richtwert: 0.66
   – Hochspannung (an Ge-Detektor) : max. 2800 V !
   Detektor liefert schon Signale bei niedrigeren HV-Werten
   siehe letzte Teilaufgabe: Energieauflösung versus HV von Ge-Detektor
   – Pole zero-Abgleich: Trigger aktivieren (meist schon eingestellt)

   Der Verstärkungsfaktor sollte so eingestellt sein, dass die Skala des MCA optimal genutzt wird, also die Spektrallinie mit der höchsten Gamma-Energie am oberen Ende der Skala auftaucht und deren Halbwertsbreite noch gut bestimmt werden kann.

### 3.2 Beenden des Experiments

1. Hochspannung ausschalten (wieder über Maestro Progeamm Menu *Acquire*)

2. Maestro 92X Spectrum und Spannungsversorgung im Crate ausschalten

3. Programm schliessen.

4. PC 'runterfahren' und ausschalten.

## 4 Versuchsprogramm

### 4.1 Messung und Interpretation von Spektren von Gamma-Isotopen

1. Aufnahme von Gammaspektren mit bekannten und leicht identifizierbaren Linien (Co-60, Cs-137, Ba-133, ggf. 241-Am) bei nomineller Betriebsspannung des Ge-Detektors, die nicht verändert werden darf im Laufe des Versuchs. - mit Ausnahme des letzten Teils;

Achten Sie auf die Wahl des Abstands der Quelle zum Detektor und notieren Sie sich diesen, insbesondere bei der Messung mit der Cs-137 Quelle, damit Sie diese Messung auch für die Abschätzung der Aktivität dieser Quelle nutzen können (s.unten Punkt 4.6)

Sie können bei geschickter Planung diese Gamma-Spektren auch für die Untersuchung der Energieauflösung des Ge-Detektors (s. Punkt 4.5) verwenden.

2. Kalibrierung der MCA-Skala in Einheiten von keV (oder MeV) mit diesen Daten. Bestimmen Sie Lage von Peakmaxima und -breiten - zumindest stichprobenartig - ohne Hilfe des Maestro Programms mit eigenen Auswerteprogrammen Ihrer Wahl! Vergleichen Sie kritisch die Resultate.

3. Für die endgültige Kalibrierung in der 'offline' Datenanalyse berücksichtigen Sie die Resultate der Bestimmung der Energieauflösung aus dem letzten Teil des Versuchsprogramms.

4. Bestimmen Sie nun die Lage der Compton-Kante im Spektrum von Cs-137. Beschreiben und interpretieren Sie die verschiedenen Erscheinungen im Spektrum, die außer dem sog. 'Photo-peak' in dem Spektrum zu sehen sind.

## 4.2 Messung und Interpretation des Untergrundspektrums

Messung und Interpretation des Untergrundspektrums (Spektrum ohne Quelle) (ggf. Langzeitmessung notwendig); Die Kenntnis des Untergrundspektrums ist bei der Bestimmng von absoluten Zählraten , z.B. für die Bestimmung der relativen Detektoreffizienz (s.unten Punkt 4.3) notwendig.

Zur Identifizierung und Interpretation der bisweilen zahlreichen Peaks kann die Bibliothek des Maestro-Programms herangezogen werden.

## 4.3 Bestimmung charakteristischer Detektorparameter

1. Bestimmung der relativen Detektoreffizienz durch Messung der Zählrate mit der vorhandenen Co-60 Quelle im Abstand von 25 cm zum Detektor. Korrigieren Sie die Zählrate auf den Untergrund (s. vorheriger Versuchsschritt).

2. Vergleichen Sie das Resultat mit der Angabe im Datenblatt und mit einer Abschätzung der relativen Effizienz nach der 'rule of thumb': $\epsilon_{rel} = 0.17\,cm^{-3} * d^3$, wobei $d = 4cm$ der Detektordurchmesser ist.

3. Bestimmung der Energieauflösung und des Verhältnis von Photoabsorptions- zu Comptonstreu-Wahrscheinlichkeit im Detektor für verschiedene Gamma-Energien (dazu können die Messungen für die Energiekalibrierung genutzt werden)

4. Vergleich der Resultate für Co-60 mit denen im Datenblatt, und tragen Sie Energieauflösung und Peak-zu-Compton-Verhältnis als Funktion der Gamma-Energie des betrachteten Spektrallinie auf.

## 4.4 Energie- und Materialabhängigkeit des linearen Absorptionskoeffizienten für Gamma-Strahlung

1. Nehmen Sie das Gamma-Spektrum von Ba-133 mit verschiedenen Absorbermaterialien (Al, Cu oder Fe, Mo, Pb) auf, wobei Sie pro Material mind. 4 verschiedene Absorberschichtdicken in geeigneter Weise wählen und bestimmen Sie daraus jeweils den Absorptionskoeffizient $\mu$. Nutzen Sie dabei die Spektrallinie bei 356 keV (Hauptlinie) und 81 keV (weniger dominante Linie).

   Hinweis: Machen Sie kurze Testmessungen zur Abschätzung der Messzeiten, die zur Erreichung eines Ergebnis mit vertretbar kleinen statistischen Fehlern notwendig sind.
   Machen Sie während der Datenaufnahme bereits eine grobe Bestimmung von $\mu$ aus den schon aufgenommenen Daten (am besten tragen Sie die Werte auf entsprechendes Millimeterpapier auf), so dass Sie Unstimmigkeiten frühzeitig bemerken und ggf. durch Überprüfung des Versuchsaufbaus korrigieren können.

2. Nehmen Sie mit Cu oder Fe Absorbermaterial Gamma-Spektren auch mit anderen Gamma-Quellen auf (wiederum für mind. 4. geeignet zu wählende Schichtdicken) und bestimmen Sie die Energieabhängigkeit von $\mu$.

3. Man erwartet folgende Abhängigkeit von $\mu$ für einen gewissen Bereich der Gamma-Energie:

$$\mu * A = const * \frac{Z^n}{E_\gamma^{7/2}} \tag{1}$$

   wobei $Z$ die Ordnungszahl und $A$ die Massenzahl des Absorbermaterials ist. $E_\gamma$ ist die Energie des einfallenden Gamma-Quants.

   Bestimmen Sie aus Ihren Resultaten bei den beiden dominanten Spektrallinien der Ba-133 Quelle den Exponenten $n$ und kommentieren Sie das Resultat, insbesondere eventuelle Unterschiede der Resultate bei verschiedenen Gamma-Energien.

   Stellen Sie die Energieabhängigkeit von $\mu$ bei Cu oder Fe in geeigneter Form graphisch dar und interpretieren Sie die Energieabhängigkeit.

## 4.5 Untersuchung der Energieauflösung des Ge-Detektors

## 4.6 Abschätzung der Aktivität einer Gamma-Quelle

1. Abschätzung der Aktivität der verwendeteten Cs-137 Quelle aus der integralen Zählrate aus dem gemessenen Gamma-Spektrum und den geometrischen Daten des Ver-

suchsaufbaus. Vergleichen Sie das Resultat mit den Angaben aus den Unterlagen am Experiment.

2. Berechnen Sie damit die in einem Abstand von 3 m von Ihnen akkumulierte Dosis während eines Versuchstags (8h), wobei Sie die Beiträge zum Massenabsorptionskoeffizienten von den verschiedenen Wechselwirkungsprozessen von Gamma-Quanten in Wasser aus der beigefügten Abbildungen (Abb.2) berücksichtigen sollen. Beachten Sie, dass der bei Compton-Streuung im statistischen Mittel aufgenommene Anteil der Gamma-Energie etwa bei 50% liegt.

1. Die Energieauflösung (gemessene Halbwertsbreite der Spektrallinien) hat 3 Beiträge verursacht von verschiedenen physikalischen Prozessen, von denen einer proportional zur Gamma-Energie ist, die anderen beiden nicht. Sie addieren sich quadratisch zur gesamten Energieauflösung, die aus den Gammaspektren bestimmt wird:

$$\sigma^2_{gemessen} = \sigma^2_{E_\gamma} + \sigma^2_{coll} + \sigma^2_{noise} \tag{2}$$

   Bestimmen sie die Energieauflösung $\sigma_{gemessen}$, wobei Sie auf die Gamma-Spektren aus Punkt 4.1 zurückgreifen können.

   Stellen Sie in Ihrem Protokoll knapp die physikalischen Ursachen für diese drei Beiträge dar, insbesondere des ersten Beitrags, der von der Energie des Gamma-Quants abhängt.

2. Bestimmen Sie aus der doppellogarithmischen Darstellung der Energieauflösung als Funktion der Gamma-Energie $E_\gamma$ den von der Gamma-Energie unabhängigen Anteil der Energieauflösung.

3. Vermindern Sie in geeigneten Intervallen die Betriebsspannung des Ge-Detektors bis auf einen Wert um 300-500 Volt und bestimmen Sie bei einer Gamma-Energie im Bereich $< 1MeV$ die Energieauflösung als Funktion der Betriebsspannung. Interpretieren Sie Ihre Resultat.

   Wählen Sie dazu eine Gamma-Quelle, die noch eine vergleichbar hohe Aktivität hat, um die Messzeit zu optimieren.

# 5 Ablauf des Versuchs:

**Dauer :**
Tag + 1 Tag in Reserve für zusätzliche Messungen oder Wiederholung von Messreihen, falls dies sich als notwendig herausstellt.

Bereiten Sie einen Plan für die Aufteilung der Messzeiten für die einzelnen Messungen vor. Überlegen Sie sich, für welche Messungen Sie viel Zeit ansetzen müssen (zunächst in relativen Anteilen).

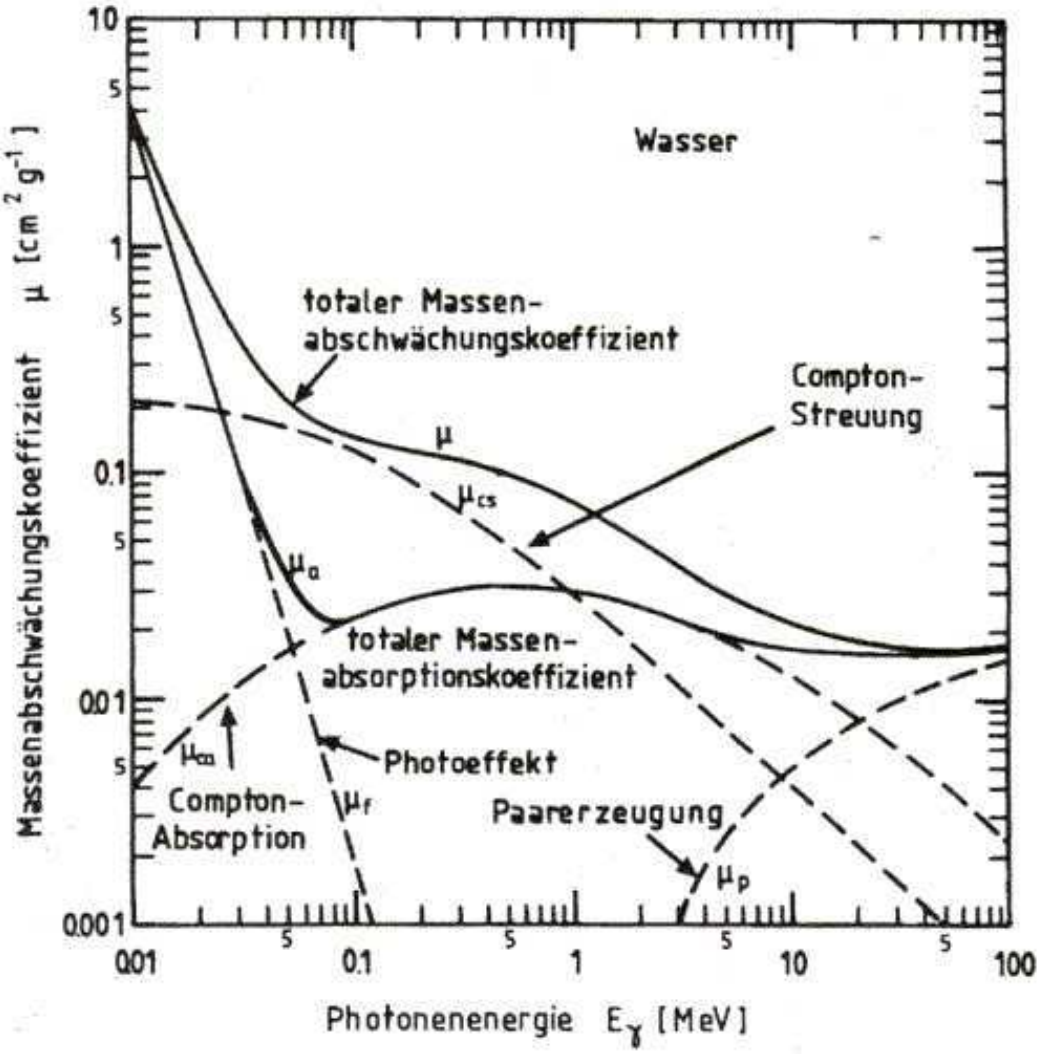


**Abb. zur Versuchsanleitung HLD:** Energieanhängigkeit des Massenabschwächungs- und des Massenabsorptionskeoffizient ($\mu$ bzw. $\mu_{abs}$) für Gamma-Quanten in Wasser.
$\mu_a = \mu_f + \mu_p + \mu_{ca}$ und $\mu = \mu_f + \mu_p + \mu_c$, wobei $\mu = \mu_{cs} + \mu_{ca}$.
Bei der Compton-Absorption wird das Gamma nach einer oder mehreren Compton-Streuungen durch Photoeffekt absorbiert.

Zu Beginn des Versuchs machen Sie mit einigen wenigen Quellen kurze Testmessungen und schätzen die Zählraten ab. Damit können Sie Messzeiten für die auszuwertenden Messungen hochrechnen und den Versuchsablauf konkret planen.

(Die Qualität Ihres Protokolls wird auch daran gemessen, wie geschickt Sie die Messzeiten wählen, um hinreichend gute Zählstatistik zu erzielen. Sie werden bemerken, dass die Aktivitäten der Quellen recht klein sind, was zur Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften notwendig ist. Deshalb müssen Sie geschickt experimentieren, um gute Resultate zu erzielen)

Die Messungen sollten am Versuchstag grob und mit Näherungen ausgewertet werden, damit Fehler bei den Messungen korrigiert werden können bzw. weitere Statistik gesammelt werden kann, wenn dies erforderlich erscheint.

**Speichern Sie alle Gamma-Spektren als Dateien ab** (oder zumindest die Teile (ROI = region of interests), die Sie für Ihre Datenauswertung benötigen, zunächst auf dem PC des Experiments, dann auf einem Rechner im POOL bzw. einem Rechner Ihrer Wahl, auf dem Sie die 'offline' Datenanalyse durchführen können.

**Wenn Sie noch kein account auf dem Rechner-POOL des Instituts haben, beantragen Sie eines so rasch wie möglich !**

Das Protokoll ist spätestens 2 Wochen nach dem Versuchstag abzugeben!

# 6 Literatur und Informationsmaterial

Literatur siehe Angaben auf der WWW-Seite

Platzanleitung enthält:
technische Beschreibung des Detektors
Liste der verfügbaren Gamma-Quellen
Handbuch zum Software -Paket Maestro (Datenakquisitionssoftware)
Angaben zu den verfügbaren Absorbermaterialplättchen