



# Szintillations- $\gamma$ -Spektroskopie

---

## 1 Lernziele

---

Im Versuch K6 können Sie Ihr kernphysikalisches und messtechnisches Wissen in einem großen Bereich vertiefen. Sie lernen eine Messmethode kennen, mit der  $\gamma$ -Strahlung energieaufgelöst analysiert werden kann. Weiterhin erweitern Sie Ihre Kenntnisse auf dem Gebiet der Detektoren und deren Einfluss auf das Messergebnis – Sie identifizieren ein unbekanntes Präparat anhand seines „Fingerabdrucks“, dem  $\gamma$ -Spektrum. Auf dieser Basis können auch die Möglichkeiten und Grenzen von Kernmodellen sowie astrophysikalische Problemstellungen wie z. B. die Analyse von Gammapulsaren diskutiert werden.

---

## 2 Vorbereitung

---

Anhand des Versuchs K6 können Sie testen, wie weit Sie schon im Erarbeiten eines physikalischen Verständnisses gekommen sind. Der Versuch ist in dieser Hinsicht durchaus anspruchsvoll und ermöglicht Ihnen zudem einen guten Einblick in die aktuelle kernphysikalische Forschung. Auf Basis des Wissens, das Sie sich in den vorangegangenen Versuchen angeeignet haben – als Beispiele genannt seien detaillierte Kenntnisse der Wechselwirkung von  $\gamma$ -Strahlung mit Materie (siehe K2), die Zerfallsschemata von  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{207}\text{Bi}$  sowie der Strahlenschutz – sollen Sie sich in der Vorbereitung intensiv mit der Funktion des Detektors auseinandersetzen. Sie sollten darlegen können, welche Voraussetzungen, Annahmen und Kenntnisse erforderlich sind, um eine energieaufgelöste Messung und die Interpretation des Spektrums durchzuführen. Dabei ist das Verständnis der Entstehung z. B. der Photolinien, Summen-Peaks, des Backscatter-Peaks, von Röntgenlinien sowie der Single- und Double-Escape-Peaks essenziell. **Damit Ihnen eine zügige Durchführung der Messungen gelingt, ist es weiterhin erforderlich, dass Sie sich mit den Befehlen zur Steuerung der Datenaufnahme und Analyseprogramme vorher auseinandersetzen.**

---

## 3 Literatur

---

Zusammengefasst als Literaturmappe im Web-Portal des physikalischen Grundpraktikums hinterlegt:

- Blatt K0
- G. F. Knoll *Radiation Detection and Measurement*
- H.-G. Vogt, H. Schultz *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*
- G. Musiol, J. Ranft, R. Reif, D. Seeliger *Kern- und Elementarteilchenphysik*

Benutzen Sie als detaillierte Informationsquelle zu den radioaktiven Präparaten die Internetseiten des National Nuclear Data Centers: <http://www.nndc.bnl.gov/>. Klicken Sie auf die interaktive Nuklidkarte und wählen das gewünschte Isotop. Am unteren Rand der Seite befindet sich der Link zur „decay radiation“.

---

## 4 Hilfsmittel

---

Schere, Klebstoff

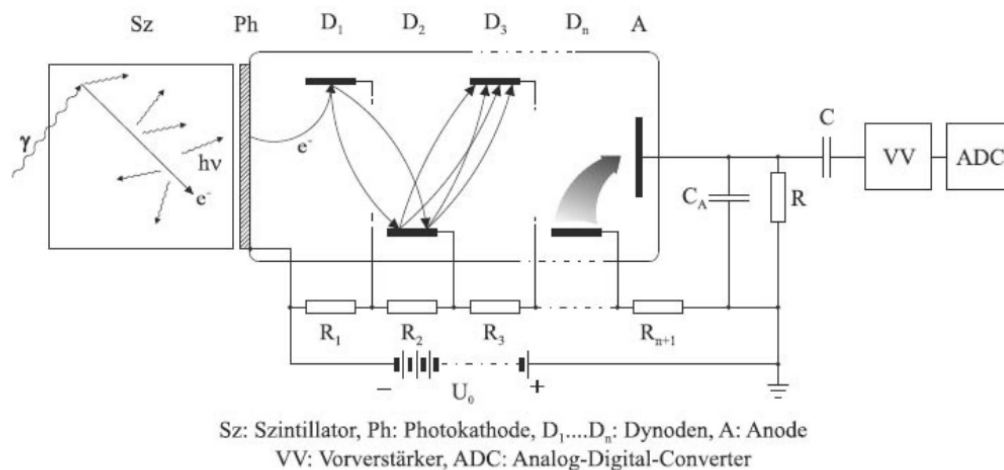
## 5 Grundlagen

Für Kernstrukturanalysen werden häufig energieaufgelöste Spektren von Photonen, Elektronen oder schwereren Teilchen experimentell bestimmt. Die genaue Kenntnis der Signalverarbeitung (vom Streuprozess bis zur Auswertung z. B. mit Hilfe eines Computerprogrammes) wie auch der Art und Stärke des Einflusses äußerer Parameter (z. B. Temperatur) ist dabei von außerordentlicher Bedeutung, das Fundament jeder ernsthaften Messung. Dies gilt in besonderem Maße dann, wenn der Einfluss der äußeren Parameter und der Signalverarbeitung auf die Genauigkeit der Resultate wesentlich stärker ist als z. B. der intrinsische statistische Fehler in einer kernphysikalischen Messung.

Die Szintillations- $\gamma$ -Spektroskopie ist ein gutes Beispiel für Experimente, wie sie auch derzeit in der Kernphysik durchgeführt werden. Die untersuchte  $\gamma$ -Strahlung ist elektromagnetische Strahlung sehr kleiner Wellenlänge. Sie wird von Atomkernen emittiert, z. B. nach einem  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfall. Die Energie härterer  $\gamma$ -Strahlung kann über die Wirkung, die diese Strahlung in Materie hervorruft, bestimmt werden.

In der Praxis verwendet man zur Messung dieser Wirkung einen Szintillationszähler. Dieser hat gegenüber dem Geiger-Müller-Zählrohr den Vorteil der wesentlich höheren Ansprechwahrscheinlichkeit (Geiger-Müller-Zählrohr ca. 0.1 % bis 1 %, Szintillationszähler nahezu 100 %).

Im Szintillationskristall (Sz) wird durch diese Prozesse die Energie eines in den Kristall eintretenden  $\gamma$ -Quants zum Teil oder vollständig in kinetische Energie eines Elektrons (bzw. Elektron-Positron-Paares) umgewandelt. In der Wechselwirkung mit anderen Elektronen erfolgt ein partieller Energieübertrag, bis die mittlere Energie dieser Elektronen in der Größenordnung der Anregung von Fluoreszenzzentren liegt, an die dann auch der Energieübertrag erfolgt. Es handelt sich dabei um statistische Prozesse. Was muss erfüllt sein, damit später die Ausgangsspannung am ADC proportional zur umgewandelten Energie sein kann und die Messung eine gute Energieauflösung hat? Ein Teil der Fluoreszenzzentren sendet dann nach sehr kurzer Zeit Licht aus, dabei wird ca. 1 % der absorbierten Energie in Licht umgewandelt.



Das Fluoreszenzlicht wird zu einer Photomultiplier-Röhre geleitet, trifft auf die Photokathode (Ph) und setzt dort Elektronen frei. Diese werden im Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) durch ein System von Dynoden (D) elektrostatisch beschleunigt und vervielfacht: Beim Aufprall auf die erste Dynode erzeugt jedes Elektron mehrere Sekundärelektronen, die ihrerseits auf die zweite Dynode beschleunigt werden und dort wiederum Sekundärelektronen erzeugen. Dieser Vorgang wiederholt sich lawinenartig.

Die gesamte an der Anode (A) des SEV ankommende Ladung ist proportional zur Zahl der primär erzeugten Photoelektronen, die wiederum ist proportional zur Zahl der auf die Photokathode auftreffenden Lichtquanten des „Lichtblitzes“, den ein  $\gamma$ -Quant verursacht. Diese Ladung fließt über den Widerstand R ab, dabei entsteht an R ein Spannungsimpuls U, dessen Höhe proportional zur Ladung und damit zu der im Kristall deponierten Energie E ist. Im Vorverstärker (VV) wird der Impuls auf eine geeignete

---

Höhe verstärkt. Im Versuch kann die Verstärkung durch eine Grobeinstellung (*coarse gain*) und eine Feineinstellung (*fine gain*) passend gewählt werden. Im nachfolgenden Analog-zu-Digital-Converter (ADC) wird die Impulshöhe in eine Digitalzahl zwischen 1 und 1024 (1 K) umgewandelt und anschließend vom *WebMate*-Datenaufnahmesystem (kleiner Kasten auf der Rückseite des ADC) in den entsprechenden Kanal eines Impulshöhenhistogramms sortiert. Die Veränderung der Impulshöhe durch die Einstellung der Verstärkung hat damit direkten Einfluss auf die Zuordnung der im Kristall deponierten Energie zu einer festen Kanalnummer. Je größer also die Verstärkung gewählt wird, desto kleiner wird das Energieintervall, das in die 1024 Kanäle „passt“. Über eine Netzwerkverbindung wird das im *WebMate* gespeicherte Spektrum zur weiteren Analyse auf einen Computer kopiert.

---

## 6 Versuchsbeschreibung

---

Experimentelles Ziel dieses Versuches ist die Bestimmung der Energieverlust-Mechanismen von  $\gamma$ -Strahlung in Materie und daraus die Identifikation von Isotopen. Dazu sind vorhanden:

1.  $^{207}\text{Bi}$ -Präparat, weitere Präparate zur Identifikation
2. NaI-Szintillationszähler mit Photovervielfacher
3. Analog-Digital-Wandler (ADC), *WebMate*-Datenaufnahme und PC mit Analysesoftware *gnuplot*.

**Achtung: Präparate dürfen nur vom Betreuer gewechselt werden!**

---

## 7 Aufgaben

---

Machen Sie sich mit der Bedienung des Versuchsaufbaus, insbesondere mit der Bedienung der Datenaufnahme und -Analyse vertraut. Beachten Sie dazu die Hinweise am Ende dieser Anleitung (Abschnitt 8).

1. *vorher zu Hause bearbeiten!*
  - Berechnen Sie die Lagen der Compton-Kanten von  $^{207}\text{Bi}$ .
  - Die Kanalnummern ( $k_1$  und  $k_2$ ) von zwei  $\gamma$ -Energien ( $E_1$  und  $E_2$ ) seien bekannt. Bestimmen Sie daraus die Koeffizienten  $k_{\text{offs}}$  und  $s$  von Gleichung (1).
2. Ermitteln Sie mit dem  $^{207}\text{Bi}$ -Präparat geeignete Einstellungen für die Größen „Coarse Gain“ und „Fine Gain“. Der Full-Energy-Peak mit der Energie 1063,7 keV sollte bei einer Kanalnummer von etwa 450–550 liegen. Prüfen Sie, ob Ihnen eine halb-logarithmische Darstellung des Spektrums zusätzliche Informationen liefert.
3. Kalibrieren Sie das Messsystem mit dem  $^{207}\text{Bi}$ -Präparat. Bestimmen Sie dazu die Koeffizienten der Kalibrierungsfunktion

$$E(k) = (k - k_{\text{offs}}) \cdot s, \quad (1)$$

die vom Offset-Parameter  $k_{\text{offs}}$  und vom Slope-Parameter  $s$  abhängt. Die zwei dominanten Zerfallsenergien von  $^{207}\text{Bi}$  sind: 569,7 keV und 1063,66 keV. Bestimmen Sie die Schwerpunkte der zugehörigen Peaks im Spektrum. Benutzen Sie die Befehle zur Peak-Analyse (siehe unten). Üblicherweise werden Energien bei der  $\gamma$ -Spektroskopie in keV angegeben. Also hat  $k_{\text{offs}}$  die Einheit „Kanäle“ und  $s$  die Einheit „keV/Kanal“.

4. Messen Sie das Spektrum von  $^{207}\text{Bi}$  in 300 s. Speichern Sie das Spektrum. Welchen Einfluss hat das Ergebnis von Aufgabe 5?

- 
5. Messen Sie das Spektrum der Untergrundstrahlung in 300 s unter Berücksichtigung der Totzeit. Beachten Sie dazu die „Real Time“ und die „Live Time“. Nutzen Sie geeignete gnuplot- oder Terminal-Kommandos, um die Ereignisse in diesen Energiebereichen aufzusummieren. Speichern Sie das Spektrum. Was ist zu beobachten? Bestimmen Sie die Ereignisraten im Untergrundspektrum in den beiden Energiebereichen, in denen sich im Bismutspektrum die zwei dominierenden FE-Peaks befinden. Nutzen Sie den Befehl „k6\_stat“, um die Ergebnisse in diesen Energiebereichen aufzusummieren.
  6. Bestimmen Sie die Energien der Compton-Kanten von  $^{207}\text{Bi}$ , die mittlere Energien (Schwerpunkt) der Photopeaks sowie deren Halbwertsbreiten ( $\text{FWHM} = \text{Full Width at Half Maximum}$ ,  $\text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma \approx 2.355\sigma$ ). Berechnen Sie daraus die Auflösung (FWHM) und die relative Auflösung  $\frac{\text{FWHM}}{E}$  der Messanordnung. Können Sie weitere Peaks identifizieren?  
Die Compton-Kante ist wegen der begrenzten Detektorauflösung nicht scharf, sondern als breite Struktur sichtbar. Bestimmen Sie (mit dem Mauszeiger) den höchsten  $c_{\max}$  und tiefsten  $c_{\min}$  Punkt dieser Struktur. Lesen Sie die Energie der Compton-Kante auf halber Höhe ( $0.5(c_{\min} + c_{\max})$ ) ab.

**Von den folgenden Aufgaben sollten Sie wenigstens eine ausführen.**

7. Bestimmung unbekannter  $\gamma$ -Linien: Überprüfen Sie die Kalibrierung und nehmen Sie dann das  $\gamma$ -Spektrum eines Ihnen unbekanntes Präparates auf. Versuchen Sie eine Interpretation. Hinweis: Es handelt sich um eines der in Abschnitt 10 genannten Präparate.
8. Nehmen Sie erneut das Spektrum von  $^{207}\text{Bi}$  auf. Lassen Sie dabei vom Betreuer zusätzlich einen Streukörper auf das Präparat legen. Wählen Sie eine zu Aufgabe 4 identische effektive Messzeit, beachten Sie dazu die Totzeit der Messanordnung. Subtrahieren Sie die Spektren voneinander (k6\_subtract) und interpretieren Sie das Ergebnis.
9. Die Emission der  $\gamma$ -Übergänge in  $^{207}\text{Bi}$  erfolgt in einer Kaskade, für die Zeitauflösung der Elektronik aber gleichzeitig. Können die Übergänge als Summenenergiesignal registriert werden? Überlegen Sie wie groß die Wahrscheinlichkeit ist. Der Betreuer legt die Quelle in verschiedenem Abstand zum Detektor. Nehmen Sie das Spektrum mit der veränderten Quellenposition auf. Wie kann man damit den Summenpeak identifizieren?

---

## 8 Bedienung der Datenaufnahme und -Analyse

---

Nach dem Hochfahren des Rechners, öffnen Sie bitte zwei Terminal-Fenster (rechter Mausklick auf die Arbeitsfläche und im Popup-Menü „Terminal hier öffnen“ wählen).

Nach dem Erscheinen des Terminal-Fensters, wird eine Eingabeaufforderung angezeigt:

```
K6Computer1>
```

Das bedeutet, dass Sie einen Befehl eingeben können. Sie tippen den Befehl mit der Tastatur ein und drücken anschließend die Eingabe-Taste. Mit der Cursor Taste „oben“ kann man alte Befehle wieder auf die Eingabezeile holen. Die Tabulator-Taste vervollständigt halb eingegebene Befehle. Wichtige Befehle bzw. Kommandos, die auf jedem Terminal verfügbar sind:

- pwd : Zeigt das aktuelle Verzeichnis.
- ls : Listet alle Dateien und Unterverzeichnisse im aktuellen Verzeichnis.
- cd verzeichnis : wechselt in das Unterverzeichnis verzeichnis.
- cd .. : wechselt ins übergeordnete Verzeichnis.

Weitere, auf den K6-Computern verfügbare Kommandos, sind in Abschnitt 9 am Ende der Anleitung zusammengefasst.

---

## 8.1 Arbeitsverzeichnis anlegen

---

Mit dem Kommando

```
K6Computer1> ls
```

können Sie alle Dateien im aktuellen Verzeichnis anzeigen. Legen Sie zuerst eine neues Arbeitsverzeichnis für Ihren Versuch an

```
K6Computer1> k6_new.sh
```

Das Arbeitsverzeichnis hat den Namen `k6_yyyy-mm-dd_hh-mm-ss` wobei die Buchstaben durch das aktuelle Datum und Uhrzeit ersetzt werden. Nun wechseln Sie in beiden Terminal-Fenstern in Ihr neu erzeugtes Arbeitsverzeichnis

```
K6Computer1> cd k6 → Tabulator-Taste (vervollständigt unvollständig eingegebenen Verzeichnis)
```

Starten Sie in einem der beiden Terminals das Programm *gnuplot*:

```
K6Computer1> gnuplot
```

Dieses Programm wird zur Visualisierung und Analyse der Spektren benutzt und wird im Folgenden Text als *gnuplot*-Terminal bezeichnet. Das zweiten Terminal dient zur Eingabe von Befehlen, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Einige dieser Befehle dienen der *WebMate*-Kontrolle. Dieses Terminal wird darum im Folgenden als *WebMate*-Terminal bezeichnet.

---

## 8.2 WebMate Bedienung

---

Das *WebMate* hält dauerhaft ein Spektrum in seinem Speicher. Alle vom ADC analysierten Impulse werden in dieses Spektrum sortiert. Wenn Sie das Spektrum ansehen und analysieren möchten, müssen Sie es auf den Computer kopieren. Dazu führen Sie im *WebMate*-Terminal das Kommando

```
K6Computer1> k6_read
```

aus. Das Kommando war erfolgreich, wenn keine Fehlermeldung angezeigt wird. Danach haben Sie eine Datei `spectrum.dat` in ihrem Arbeitsverzeichnis, die eine Kopie des Spektrums auf dem *WebMate* zum Zeitpunkt des Auslesens enthält. Dieses ist Ihr Arbeitsspektrum. Alle Analysefunktionen arbeiten auf der Datei `spectrum.dat`. Sie sollten jedes gemessene Spektrum auch unter einem anderen Namen abspeichern, z. B. `Aufgabe1.dat`.

```
K6Computer1> cp spectrum.dat Aufgabe1.dat
```

Wenn Sie später nochmal auf Aufgabe 1 zurückkommen wollen, kopieren Sie ihr gesichertes Spektrum wieder nach `spectrum.dat`.

```
K6Computer1> cp Aufgabe1.dat spectrum.dat
```

Sie können die gespeicherten Dateien auch direkt bearbeiten oder anzeigen, z.B. mit:

```
gnuplot> plot 'spectrum.dat' with histeps
```

Beachten Sie aber, dass die Kommandos zur Analyse (Abschnitt 8.5) und die *gnuplot*-Skripten zur Anzeige (Abschnitt 8.3) immer mit der Datei `'spectrum.dat'` arbeiten.

---

### 8.3 Spektrum anzeigen und drucken

---

Nachdem Sie das Spektrum vom *WebMate* kopiert haben, können Sie es sich im *gnuplot*-Terminal ansehen, indem Sie

```
gnuplot> plot 'spectrum.dat' with histeps
```

eingeben. Sie können anstelle von `with histeps` auch `with lines` oder `with dots` angeben. Für die Darstellung eines Histogramms ist die erste Form sinnvoll. Mehrere Spektren werden zusammen in einem Graph dargestellt, wenn sie in einem `plot`-Befehls angegeben werden:

```
gnuplot> plot 'spectrum1.dat' with histeps, 'spectrum2.dat' with histeps
```

Wenn Sie den Mauszeiger über das Spektrum bewegen, können Sie am unteren Bildschirmrand die Koordinaten ablesen. Erzeugen Sie eine halb-logarithmische Darstellung des Spektrums indem Sie

```
gnuplot> set log y
```

eintippen und danach den `plot`-Befehl erneut ausführen (Cursor-Taste „oben“).

```
gnuplot> unset log y
```

erzeugt wieder eine lineare Skalierung der y-Achse. Der Befehl

```
gnuplot> set yrange [10:5000]
```

bewirkt, dass beim nächsten ausführen des `plot`-Befehls die y-Achse den Bereich von 10 bis 5000 Counts abdeckt. Der Anzeigebereich kann auch mit der Maus im Spektrum modifiziert werden. Klicken Sie dazu mit der rechten Maustaste zwei Punkte im Histogramm an. Wenn sie die auf der Tastatur 'a' drücken, wird wieder der gesamte Bereich angezeigt. Eine Hilfeseite mit allen Funktionen wird angezeigt, wenn sie die auf der Tastatur 'h' drücken.

In Ihrem Arbeitsverzeichnis befinden sich mehrere *gnuplot*-Skripten. Eines davon ist `display.gp`, das noch mehr Informationen anzeigt als der einfache `plot`-Befehl. Laden Sie es indem Sie

```
gnuplot> load 'display.gp'
```

im *gnuplot*-Terminal eingeben. Dieses Skript zeigt auch die mit `k6_stat`-Befehl markierten Bereiche sowie die Ergebnisse von Gauß-Fits. Beachten Sie, dass sie das *WebMate*-Spektrum auf den Computer kopieren müssen, um den Fortgang einer Messung zu beobachten. Probieren Sie das Skript zur automatischen Anzeige aus.

```
gnuplot> load 'auto_update.gp'
```

Solange dieser Befehl aktiv ist, wird das Spektrum sofort aktualisiert nachdem `k6_read` aufgerufen wurde. Wenn Sie ein Spektrum drucken wollen, dann exportieren Sie es zunächst in eine PostScript-Datei:

```
gnuplot> load 'export_ps.gp'
```

Starten Sie anschließend den PostScript-Betrachter `gv`:

```
K6Computer1> gv print.ps
```

Wenn Sie zufrieden mit dem Ergebnis sind, drucken Sie das Bild (`gv`-Menü: Datei → Dokument drucken → Print).

---

## 8.4 Neue Messung starten

---

Wenn Sie eine neue Messung starten wollen, müssen sie alle Kanäle des Spektrums im *WebMate* auf Null setzen.

```
K6Computer1> k6_clear
```

Damit ist eine neue Messung gestartet. Sie können nun das *WebMate*-Spektrum jederzeit auf den Computer kopieren um den Fortgang der Messung mit *gnuplot* Beobachten:

```
K6Computer1> k6_read
```

Sie brauchen die Messung nicht explizit zu beenden. Kopieren Sie am Ende der Messung einfach das *WebMate*-Spektrum ein letztes Mal auf ihren Computer und sichern Sie es unter einem sinnvollen Namen:

```
K6Computer1> cp spectrum.dat sinnvoller_name.dat
```

Die Analyse machen Sie mit dem Arbeitsspektrum.

---

## 8.5 Analyse von Peaks im Spektrum

---

Wegen der begrenzten Auflösung des Messapparatur erscheint eine diskrete  $\gamma$ -Energie ( $E_0$ ) im Spektrum als ein Gauß-Peak auf einem nicht weiter definierten Untergrund. Nimmt man einen linearen Verlauf des Untergrunds im Bereich des Peaks an, kann man seine Form durch

$$p(E) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{E-E_0}{\sigma}\right)^2\right) + \underbrace{a_0 + (E-E_0)a_1}_{\text{Untergrund}}$$

beschreiben. Die quantitative Analyse eines Peaks im Spektrum gibt Auskunft über den Ursprung der  $\gamma$ -Strahlung. Anhand des Peak-Schwerpunktes kann  $E_0$  bestimmt werden. Die Peak-Breite ( $\sigma$ ) ist die Energieauflösung der Messapparatur und die Peak-Fläche ( $A$ ) entspricht der Zahl der nachgewiesenen  $\gamma$ -Quanten mit der Energie  $E_0$ . Ziel der Analyse ist die Bestimmung von  $E_0, \sigma$  und  $A$ . Die Halbwertsbreite eines Peak ist proportional zu  $\sigma$ :  $\text{FWHM} \approx 2,355 \sigma$ .

Bestimmen Sie zunächst einen Bereich um den Peak, sodass auch etwas vom Untergrund enthalten ist. Markieren Sie diesen Bereich mit dem Terminal-Befehl, z.B.:

```
K6Computer1> k6_stat 123.4 567.8 peak1
```

Dabei geben 123.4 und 567.8 die Grenzen des Bereichs an und *peak1* ist der Name des Bereichs, der frei gewählt werden kann (ohne Leerzeichen). Beim nächsten Anzeigen des Spektrums (mit dem Skript *display.gp*) werden die gewählten Bereiche markiert, und die Summe der Ereignisse sowie Mittelwert und Varianz für den jeweils markierten Bereich angezeigt. Sie können mit

```
K6Computer1> k6_stat <min> <max> <name>
```

und danach

```
gnuplot> load './display.gp'
```

weitere Bereiche markieren (wenn Sie ein neues Label benutzen), oder schon definierte Bereiche verändern (indem sie das Label des jeweiligen Bereichs angeben). Nachdem Bereiche markiert wurden, kann in allen markierten Bereichen eine Gauß-Funktion „gefittet“ werden. Laden Sie dazu im *gnuplot*-Terminal das Skript *fit.gp*:

```
gnuplot> load 'fit.gp'
```

Beim nächsten Anzeigen des Spektrums (mit *display.gp*) werden in den gewählten Bereichen Gauß-Funktionen sowie deren Parameter angezeigt. Wenn die Parameter nicht innerhalb des sichtbaren Bereichs angezeigt werden, passen Sie den Bereich der x- und y-Achsen an:

```
gnuplot> set xrange [100:500]
```

```
gnuplot> set yrange [10:15000]
```

---

## 8.6 Energiekalibrierung

---

Die Parameter  $k_{\text{offs}}$  und  $s$  der Kalibrierungsfunktion können durch das Skript `k6_cal`  $k_{\text{offs}}$   $s$  gesetzt werden, z.B.:

```
K6Computer1> k6_cal 20 2.5
```

Beim nächsten Anzeigen des Spektrums werden die aktualisierten Parameter benutzt. Bestimmen Sie die Parameter mit der Formel, die Sie sich zu Hause überlegt haben (Aufgabe 1).

---

## 8.7 Spektren Subtrahieren

---

Für die Subtraktion zweier Spektren müssen beide Spektren gespeichert worden sein, z. B. unter `spectrum1.dat` und `spectrum2.dat`. Sie erzeugen die Differenz (`spectrum1 - spectrum2`) mit dem Befehl:

```
K6Computer1> k6_subtract spectrum1.dat spectrum2.dat
```

Das Ergebnis wird als Arbeitsspektrum in der Datei `spectrum.dat` gespeichert und kann wie ein direkt aufgenommenes Spektrum angezeigt und analysiert werden.

Abschnitt 9 enthält eine Zusammenfassung aller Kommandos und *gnuplot*-Skripten, die zur Steuerung der Datenaufnahme und -Analyse benötigt werden.



## 9 Zusammenfassung der Terminal- und gnuplot-Kommandos

Terminal-Kommando	Beschreibung
<code>k6_clear</code>	Löscht das Spektrum im <i>WebMate</i> . Führen Sie diesen Befehl nur aus, wenn Sie sich sicher sind, dass Sie es nicht mehr brauchen.
<code>k6_read</code>	Kopiert das Spektrum vom <i>WebMate</i> auf den Rechner in die Datei <code>spectrum.dat</code> und überschreibt diese.
<code>k6_cal <math>k_{\text{offs}}</math> s</code>	Bewirkt, dass das angezeigte Spektrum mit den Parametern $k_{\text{offs}}$ und $s$ kalibriert wird. Die Werte werden in <code>cal.conf</code> gespeichert.
<code>cp spectrum.dat name.dat</code>	Kopiert das Spektrum <code>spectrum.dat</code> in die Datei <code>name.dat</code> .
<code>k6_stat links rechts label</code>	Bestimmt statistische Größen (Mittelwert, Varianz, Standardabweichung, ...) von begrenzten Bereichen des Spektrums <code>spectrum.dat</code> . Die Grenzen werden durch die Parameter <code>links</code> und <code>rechts</code> festgelegt. Jeder Bereich braucht einen Namen ( <code>label</code> ). Verwenden Sie ein bereits existierendes Label, so wird der existierende Bereich verändert. Verwenden Sie ein neues Label, so wird ein neuer Bereich hinzugefügt. Nachdem dieser Befehl ausgeführt wurde, werden die angegebenen Bereiche beim nächsten Aufruf von <code>load 'display.gp'</code> in <i>gnuplot</i> dargestellt. Alle definierten Bereiche verschwinden nach einem Aufruf von <code>k6_read</code> oder <code>k6_statclear</code> .
<code>k6_statclear</code>	Löscht alle mit <code>k6_stat</code> markierten Bereiche.
<code>k6_subtract spec1.dat spec2.dat</code>	Berechnet die Differenz der beiden in <code>spec1.dat</code> und <code>spec2.dat</code> gespeicherten Spektren und speichert das Resultat in der Datei <code>spectrum.dat</code> :  $\text{spectrum.dat} = \text{spec1.dat} - \text{spec2.dat}$ Unterscheidet sich die Messzeit der beiden Spektren, wird <code>spec2.dat</code> anhand der „Live Time“ skaliert.
<code>k6_clear &amp;&amp; sleep 300 &amp;&amp; k6_read</code>	Um den PC automatisch 5 Minuten lang messen zu lassen

<i>gnuplot</i> -Kommando	Beschreibung
load 'display.gp'	Visualisierung des Spektrums in der Datei spectrum.dat, inklusive der von k6_stat definierten Bereiche und der gefitteten Gauß-Funktionen.
load 'fit.gp'	Startet eine automatische Parameteranpassung (Fit) von Gauß-Peaks in den markierten Bereichen im Spektrum.
load 'auto_update.gp'	Ruft das display-Skript einmal pro Sekunde auf.
load 'export_ps.gp'	Erzeugt eine PostScript-Datei print.ps des zuletzt in <i>gnuplot</i> dargestellten Bildes.

Tastendruck im <i>gnuplot</i> -Plot-Fenster	Beschreibung
L	Wechselt zwischen logarithmischer und dezimaler Darstellung der y-Achse.
A	Automatische Skalierung der Achsen.
M	Koordinaten des Mauszeigers werden eingeblendet.
H	Hilfeseite von <i>gnuplot</i> .

## 10 Ausgewählte $\gamma$ -Quellen

Nuklid	Energie [keV]	Emissionswahrscheinlichkeit pro Zerfall [%]
<sup>22</sup> Na	1274,54	99,94
<sup>58</sup> Co	810,76	99,45
	863,95	0,69
	1674,73	0,52
<sup>60</sup> Co	1173,23	99,86
	1332,49	99,98
<sup>65</sup> Zn	1115,54	50,6
<sup>94</sup> Nb	702,64	99,79
	871,11	99,86
<sup>134</sup> Cs	475,4	1,49
	563,2	8,36
	569,3	15,39
	604,7	97,63
	795,8	85,4
	801,9	8,69
	1038,6	0,99
	1168,0	1,792
<sup>137</sup> Cs	1365,2	3,016
	661,66	84,99
<sup>152</sup> Eu	121,78	28,37
	244,7	7,53
	344,28	26,57
	411,12	2,24
	444,0	3,13
	778,9	12,97
	867,34	4,21
	964,1	14,63
	1085,84	10,13
	1089,74	1,73
	1112,07	13,54
	1212,95	1,41
	1299,14	1,63
1408,01	20,85	
<sup>207</sup> Pb	569,70	97,74
	1063,66	74,5
	1770,23	6,87