

3.6 Messung von Kernspektren mit einem NaJ-Szintillationszähler (KP)

A. Vorkenntnisse

Eigenschaften stabiler Atomkerne. Aufbau und Klassifizierung von Atomkernen. Ladung, Masse und Stabilität der Nukleonen. Die Bindungsenergie und der Massendefekt. Kernmodelle: Das Schalenmodell und das Tröpfchenmodell. Die semiempirische Massenformel nach von Weizsäcker. Energieniveaus und Zerfallsarten von Kernen. Wirkungsweise von Szintillationszählern. Wechselwirkung von γ -Quanten mit Materie. Der Begriff des differentiellen und totalen Wirkungsquerschnittes. Absorptions- und Massen-Absorptionskoeffizient. Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie: Photoeffekt (vgl. AP 2), Comptoneffekt und Paarerzeugung. Der Wirkungsquerschnitt bei Thomson-Streuung (klassisch). Die Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes der oben genannten Prozesse von der Kernladungszahl und der Energie der γ -Quanten. Die Ladungszahl- und γ -Energieabhängigkeit des totalen Absorptionsquerschnittes. Funktionsweise und Eichung eines Einkanalanalysators.

B. Literaturangaben

- Lehrbücher: [1] S. 194 - 204
[3] Kap. 13.1, 13.2, 13.3.1, 13.3.2 und 13.3.4
[6] Kap. 2.1 - 2.4, 3.1 - 3.4, 6.1 und 6.2
[1] S. 165 - 169 und 204 - 208
[7] Kap. 2 und 3

C. Einordnung des Versuches

Mit diesem Versuch sollen Sie sich mit der γ -Spektroskopie von Kernen vertraut machen. Ihr Spektrometer wird dabei ein Natriumjodid-Kristall sein, in dem die von Atomkernen emittierten hochenergetischen (MeV) Photonen (γ -Quanten) Lichtblitze erzeugen, die mit einem Photomultiplier nachgewiesen werden. Sie werden das Pulshöhenspektrum verschiedener Kerne mit Hilfe eines Einkanal Diskriminators (single channel analyzer, SCA) untersuchen. In einem hinter den SCA geschalteten Zähler wird genau dann ein Puls registriert, wenn die Spannungspulshöhe am Photomultipliausgang zwischen der Schwellspannung U und dem Wert $U + \Delta U$ ($\Delta U = \text{window}$) des SCA liegen. Durch Variation von U erhält man dann das Pulshöhenspektrum des untersuchten Isotops. Mit Hilfe einer Energieeichung des SCA kann eine Zuordnung der beobachteten Spektren zu den entsprechenden Zerfallskanälen vorgenommen werden.

Im Frequenzbereich deutlich unterhalb des sichtbaren Lichtes, beschreibt die (klassische) Maxwell'sche Theorie in sehr guter Näherung die Wechselwirkung elektromagnetischer

Wellen mit Materie. Bei hohen Frequenzen (oder hohen Energien $h\nu$) bestimmt jedoch die Quantennatur der elektromagnetischen Strahlung diese Wechselwirkung. Mit steigenden Energien gewinnt die elastische Streuung von Photonen an Elektronen – der Comptonneffekt – im Vergleich zum Photoeffekt an Bedeutung. Wird die Energie der Photonen schließlich größer als die doppelte Ruheenergie eines Elektrons ($m_e c^2 = 511 \text{ keV}$), so kann ein γ -Quant im elektrischen Feld eines Atomkerns in ein Elektron-Positron-Paar zerstrahlen. Dieser Paarerzeugungsprozeß bestimmt für Energien $h\nu > 5 \text{ MeV}$ dominierend die Wechselwirkung von γ -Quanten mit Materie.

Zur Vorbereitung auf diesen Versuch, bei der Sie Analogien, aber auch Unterschiede zwischen dem Aufbau der Elektronenhülle und dem von Atomkernen feststellen werden, sollen Sie sich neben den kernphysikalischen Aspekten besonders mit der Funktionsweise der oben angeführten Instrumente vertraut machen. Darüberhinaus messen Sie den totalen Absorptionsquerschnitt, zu dem i. a. alle drei Wechselwirkungsmechanismen beitragen, für verschiedene Materialien wie Blei, Kupfer oder Aluminium.

D. Versuchsprogramm

D.1 Umgang mit dem Einkanalanalysator

Abb. 11 zeigt Vorder- und Rückseite des verwendeten SCA. Sie finden auf der Vorderseite folgende Bedienungselemente, die für die Versuchsdurchführung von Bedeutung sind:

COARSE GAIN	Verstärkung des eingebauten Pulsverstärkers von 4 bis 128
FINE GAIN	Feinverstellung der Verstärkung von x 3 bis x 10
DIFF/INT	Bestimmt den Arbeitsmode des Gerätes, wobei:
DIFF	Zählpuls dann, wenn der Eingangspuls zwischen Lower Level und Lower Level + Window liegt
INT:	Zählpuls dann, wenn Eingangspuls über Lower Level liegt.
INPUT	Eingang des Photomultipliers
WINDOW	setzt die Fensterbreite auf Werte zwischen 0 und 10 V
LOWER LEVEL	setzt die untere Schwellspannung auf Werte zwischen 0.1 und 10 V
SCA	Ausgang des Einkanalanalysators (Positive TTL(5 V)-Pulse)
AMP	Ausgang des internen Pulsverstärkers

Vergewissern Sie sich, daß folgende Schalter-Einstellungen vorliegen:

DIFF, UNI, LOWER LEVEL REF auf INT, INPUT POLARITY auf NEG, WINDOW auf INT

Bevor Sie mit dem Versuch beginnen, stellen Sie die Verstärkung mittels COARSE GAIN und FINE GAIN ein. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

- Verwenden Sie ^{22}Na oder ^{60}Co , da für diese Präparate Signale am oberen Ende der interessierenden Energieskala vorliegen (vgl. Spektren unter Punkt E).

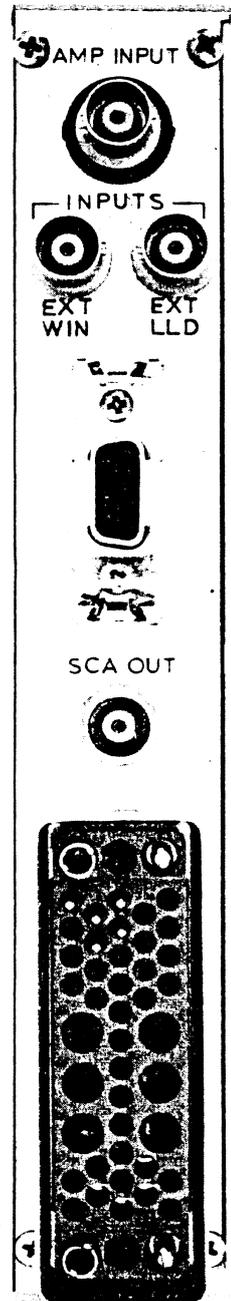
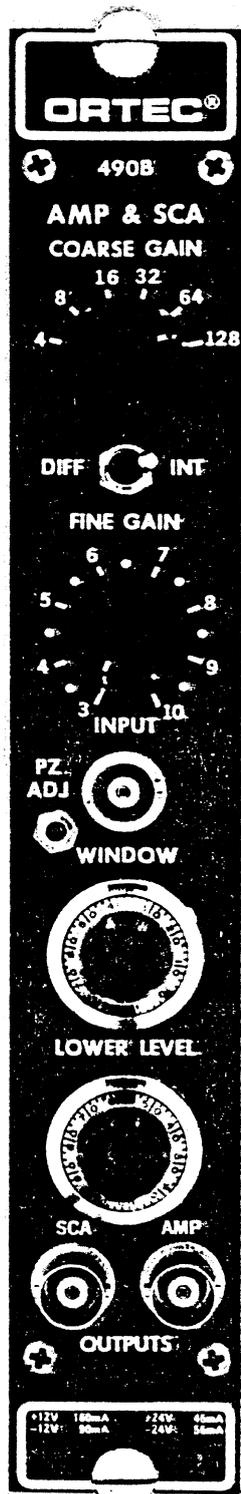


Abbildung 11: Vorder- und Rückansicht des verwendeten Einkanalanalysators.

- Stellen Sie LOWER LEVEL auf 9 V und WINDOW auf 1 V.

- Durch Variation von GAIN können Sie nun den betrachteten Energiebereich verändern.
Erhöhen Sie GAIN so lange, bis Pulse registriert werden.
- Halten Sie den zuletzt eingestellten Wert von GAIN während des weiteren Versuches konstant, da sonst eine neue Energieeichung der Kanäle erforderlich wird.

D.2 Aufnahme von Pulshöhenspektren

Beobachten Sie für ein Präparat Ihrer Wahl (vgl. Kap. 5.1, Radioaktive Präparate) die Ausgangspulse des Photomultipliers zunächst mit Hilfe eines Oszilloskops. Erhöhen Sie dabei die Versorgungsspannung des Photomultipliers bis auf 1050 V. Beachten Sie die statistische Natur der Zerfallsereignisse und wählen Sie entsprechend Ihre Meßzeit.

Orientieren Sie sich mit dem SCA zunächst mit großer Fensterbreite, bei welchen Spannungswerten Pulse auftreten. Stellen Sie dann nach und nach den Wert von WINDOW enger, um eine angemessene Energieauflösung Ihrer Spektren zu erzielen. Orientieren Sie sich dabei an den unter Punkt E dargestellten Beispielen (aus [1]).

Nehmen Sie Pulshöhenspektren für mindestens drei verschiedene Präparate auf (vgl. Kap. 5.1, Radioaktive Präparate). Untersuchen Sie, ob der Abstand zwischen Quelle und NaJ-Kristall Einfluß auf das Spektrum hat und führen Sie das Experiment unter reproduzierbaren Bedingungen durch.

Verifizieren Sie mit Hilfe einiger bekannter Zerfallsenergien die Linearität zwischen SCA-Kanal (LOWER LEVEL) und Energie. Interpretieren Sie Ihre Spektren, indem Sie die Peaks den erwarteten Zerfällen zuordnen und Störeffekte analysieren [8].

D.3 Messung der Absorption von γ -Quanten in Materie

Führen Sie die folgenden Messungen für zwei verschiedene Energien durch (bei etwa 0,5 bis 0,6 MeV und bei 1,2 bis 1,4 MeV). Wählen Sie entsprechend geeignete Präparate aus. Bereiten Sie den Versuchsaufbau analog zum Versuch KP 1 vor.

Messen Sie zunächst das Pulshöhenspektrum des verwendeten Präparates. Filtern Sie dann den gewünschten Peak aus dem Spektrum, indem Sie beim Einkanalanalysator Schwelle und Fenster entsprechend einstellen.

Ermitteln Sie die Absorptionskoeffizienten von Blei und Aluminium oder Kupfer, indem Sie den γ -Strahl mit den Metallplatten abschwächen und die Zählrate als Funktion der Plattendicke bestimmen. Berücksichtigen Sie dabei den statistischen Fehler Ihrer Messungen. Tragen Sie die auf den ungeschwächten Wert normierte Pulsrate als Funktion der Plattendicke halblogarithmisch auf und bestimmen Sie so den Absorptionskoeffizienten κ , die Reichweite $1/\kappa$ sowie den Massenabsorptionskoeffizienten μ und den Wirkungsquerschnitt σ .

Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse unter Berücksichtigung der Fehler mit Literaturwerten. Ordnen Sie die ermittelten Wirkungsquerschnitte den jeweils relevanten Wechselwirkungsmechanismen zu.

E. Detailangaben zum Versuch

Bei der Durchführung dieses Versuches ist ein Dosimeter zu tragen (vgl. Kap. 2.2, Sicherheitshinweise).

Im folgenden finden Sie einige Beispiele für Pulshöhenspektren typischer Präparate (aus [1]).

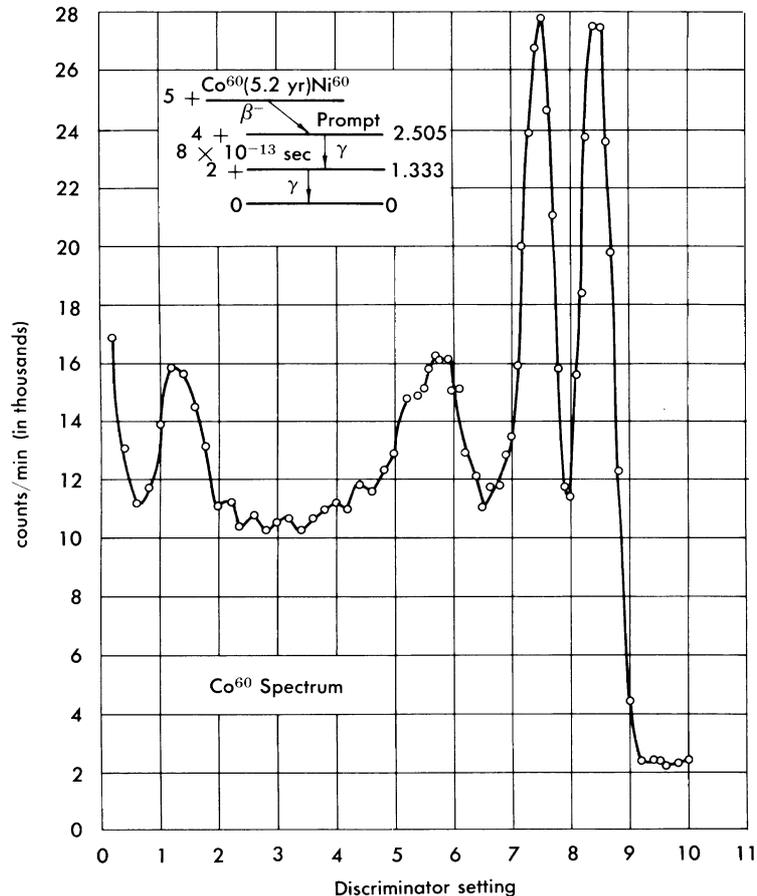


Abbildung 12: Mit einem NaJ-Kristall gemessenes Pulshöhenspektrum von ^{60}Co .

Handhabung des Zählers

Im folgenden finden Sie einige Angaben zum Umgang mit dem Zähler (“Operating Instructions” für Scaler/Timer STP-N-75A).

Gehen Sie folgendermaßen vor, falls der Zähler keine Pulse registriert:

- Vergewissern Sie sich mit Hilfe des Oszilloskops, daß Pulse vorhanden sind. Legen Sie dazu das Signalkabel an den Oszilloskop-Eingang.
- Schließen Sie dann wieder den Zähler an.
- Verstellen Sie langsam die Sensitivität (Drehknopf), bis Pulse gezählt werden.
- Berühren Sie danach den Drehknopf nicht mehr (sehr empfindlich).

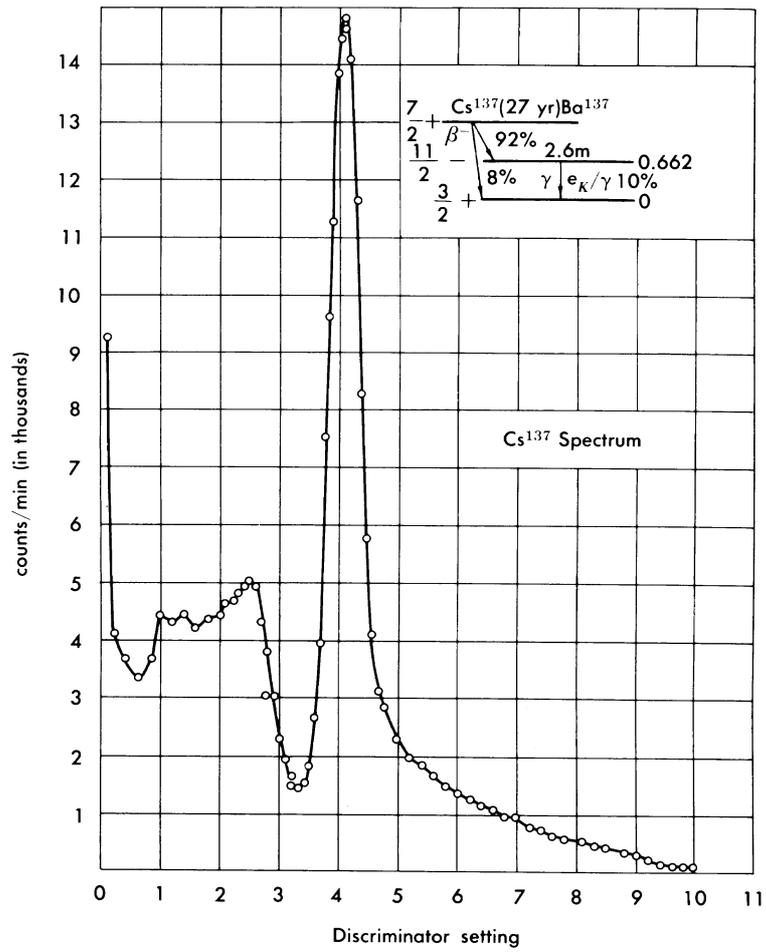


Abbildung 13: Mit einem NaJ-Kristall gemessenes Pulshöhenspektrum von ^{137}Cs .

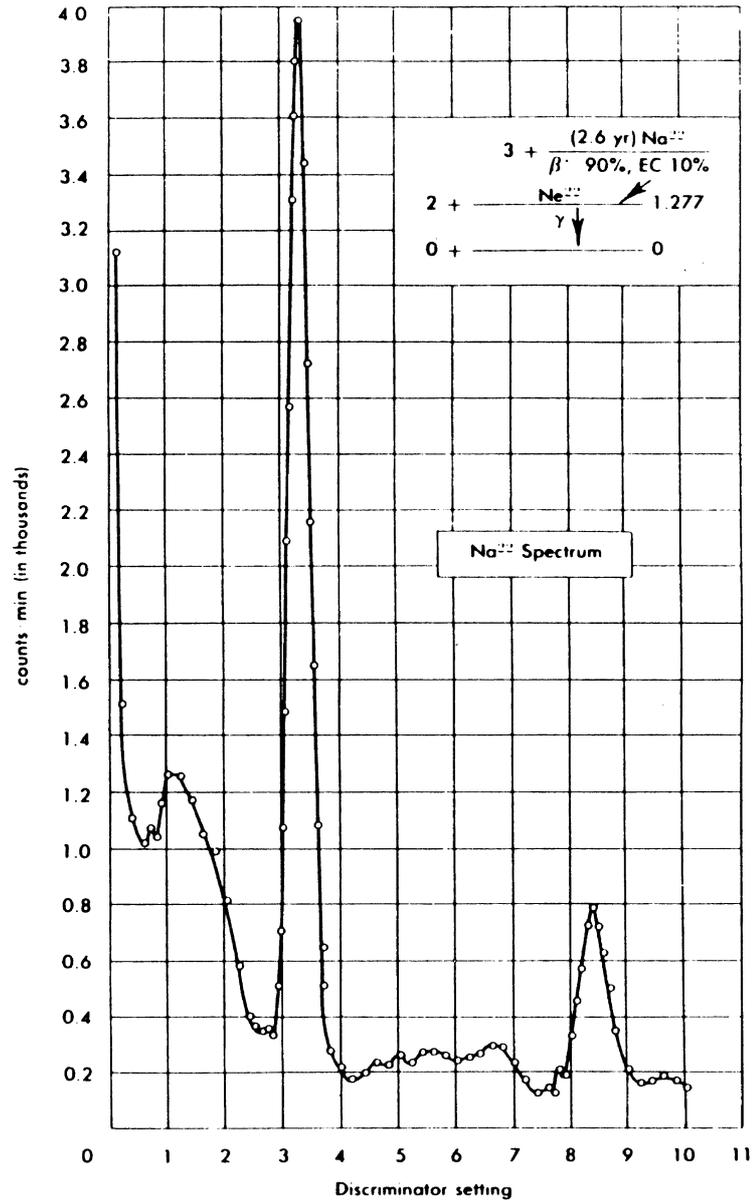


Abbildung 14: Mit einem NaJ-Kristall gemessenes Pulshöhenspektrum von ²²Na. Die 511 keV-Linie entsteht durch Positron-Annihilation.

OPERATING INSTRUCTIONS

3.1 Controls, Terminals and Indicators

a. FRONT PANEL

GATE ON or PRINT Indicator : Lights to indicate an open gate or interrogation in process.

OVERRANGE Indicators : Lights to indicate the scaler has been overranged.

MASTER/SLAVE Switch : In MASTER position the scaler is controlled either by the front-panel controls or by signals applied to the rear-panel connectors. A gate output is provided to control the slave modules.

In SLAVE position the scaler is controlled by front-panel controls and by external signals applied to the rear-panel connectors by the master of the multiscaler system.

NORM/INTEG Switch : In NORM position reset pulses are enabled. In INTEG position the counting is cumulative.

PRESET Switches : Two rotary switches for selection of the preset number. In the OFF position the counting can be stopped only by the STOP push-button, or externally.

RECY/NORM Switch : Enables recycle mode.

PRESET TIME/COUNT Switch : Selects either preset time or count time mode.

DISPLAY TIME/COUNT Switch : Selects either the time or count for display.

START PUSHBUTTON : Starts the counting.

NORM/DISP.TEST/TEST Switch : In the DISP.TEST position the display indicates 88888 effecting the count. In the TEST position a 1 MHz signal is applied to the counter scaler input and is counted for the duration of the gate-pulse.

STOP PUSHBUTTON : Stops the counting.

SENSE. CONTROLS : Adjusts the threshold of the input pulse from +12 volts to -12 volts.

DISPLAY TIME Control : In RECY. mode, adjusts the time between cycles, from 0.5 to 10 seconds. However, it will not restart until the printing is complete.

INPUT BNC : For connection of input signal.

b. REAR PANEL

PRINTER OUT Connection : : 50-pin connector for output to printer or via SPC-1 to TTY. Contains seven BCD digits, print command and other control signals used in a multiscaler system.

ON/OFF Switch : In the OFF position the scaler is excluded from a multiscaler system by turning off the 5-volt power.

GATE IN BNC : Control starts and stops counting.

GATE OUT BNC : Output pulse during counting.

START IN BNC : Starts counting on minimum of 1 μ sec pulse.

STOP IN BNC : Stops counting on minimum of 1 μ sec pulse.

OVERFLOW BNC : Pulse output when the capacity of the scaler has been exceeded.

CLOCK INT/EXT Switch : In EXT position clocks are supplied to CLOCK IN/OUT BNC. In INT position, internal clocks are used and are made available via the CLOCK IN/OUT BNC.

CLOCK IN/OUT BNC : Depending on position of CLOCK INT/EXT switch, accepts external clocks or supplies internal clocks.

POWER CONNECTOR : Standard connector for NIM power supply such as ELSCINT BPS-N-3.

System Connector:

For interconnection to a multiscaler system or to Terminal Box TBS-1.

3.2 Operation

3.2.1 Connect the STP-N-75A to a standard NIM power supply such as ELSCINT BPS-N-3.

3.2.2 Input circuit adjustment:

- a) Connect input signal to INPUT BNC on Front Panel, and place ON/OFF switch on rear-panel to the ON position.
- b) Place DISPLAY COUNT/TIME Switch to the COUNT position.
- c) Depress START pushbutton, GATE ON or PRINT indicator should light.
- d) Slowly rotate SENS. Control clockwise until counting is indicated on the display.
- e) Stop counting by depressing STOP pushbutton. The input circuit of the STP-N-75A is now ready for counting.

3.2.3 Master Mode operation:

- a) Place MASTER/SLAVE switch to the MASTER position.
- b) Connect SLAVE modules , if any, to the rear-panel connector .
- c) For cumulative counting of the input signal place NORM/INTEG switch to the INTEG position.
- d) Connect external printer, if used, to the PRINTER OUT connector on the rear panel. If used with TTY page printer, connect Parallel to Serial Control SPC-1, to the rear cable.
- e) If the preset capability is to be used, set the desired preset number, for either time or count depending on position of PRESET TIME/COUNT switch, with the two controls on the front panel.
- f) Depress START pushbutton to start the counting. If the preset capability is used, counting will stop automatically when the preset number is reached. Otherwise, stop counting by depressing the STOP pushbutton.