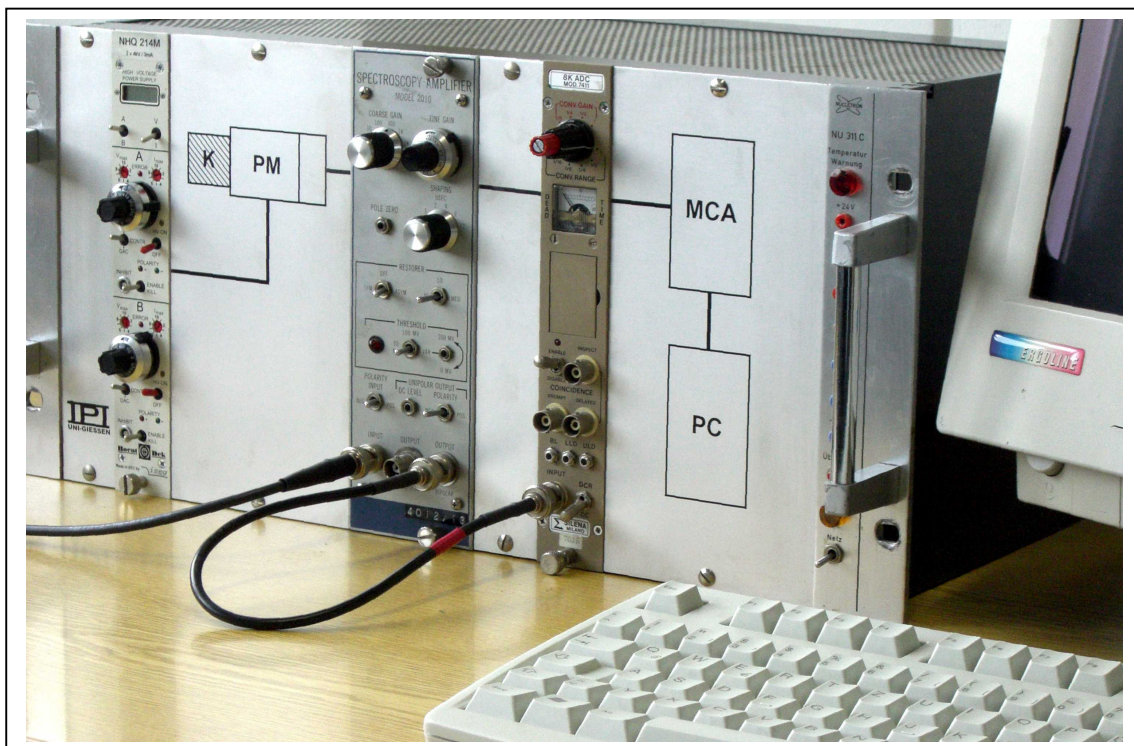


Versuch 1.11

γ -Spektroskopie

A. Aufgabenstellung

Mit Hilfe eines Szintillationsdetektorsystems sollen die Impulshöhenspektren von ^{137}Cs , ^{60}Co und ^{22}Na aufgenommen werden. COMPTON-Kanten, Rückstreupeaks und Escape-Peaks werden berechnet und mit den experimentellen Ergebnissen verglichen. Nach einer Energieskalierung wird die Energieauflösung für ^{137}Cs bestimmt und mit dem theoretischen Wert verglichen. Mittels einer Eichkurve (Impulshöhe vs. Energie), die aus den experimentellen Werten ermittelt wird, soll die Linearität des Spektrometers überprüft werden.



B. Anleitung zur Theorie

Folgende Punkte sollten im einzelnen diskutiert werden:

- Entstehung und Energie der γ -Strahlung allgemein im Vergleich mit denen anderer elektromagnetischer Strahlung sowie speziell der vorliegenden Nuklide.
- Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie im wesentlichen durch Photoeffekt, COMPTON-Effekt und Paarbildung. Abhängigkeit der Wirkungsquerschnitte sowohl von der Ordnungszahl der Materie sowie von der γ -Energie.

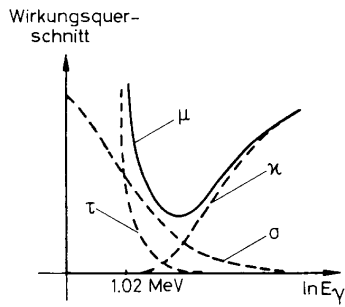
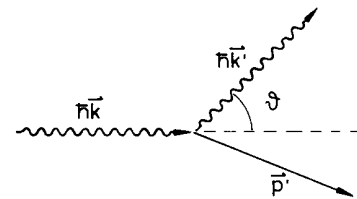


Fig.1.11.1: Schematische Darstellung der Wirkungsquerschnitte für Photoeffekt (τ), COMPTON-Effekt (σ) und Paarbildung (κ) sowie des totalen Wirkungsquerschnitts $\mu = \tau + \sigma + \kappa$ als Funktion der γ -Energie.

Fig. 1.11.2: Schematische Darstellung des COMPTON-Effekts als Stoß zwischen einem Photon mit dem Impuls $\hbar\mathbf{k}$ und einem Elektron mit dem Impuls $\mathbf{p} (= \mathbf{0})$ vor dem Stoß und \mathbf{p}' nach dem Stoß.



- c) Aufbau und Funktionsweise des Strahlungsdetektorsystems: Lumineszenzmechanismus des Szintillationszählers, Photomultiplier, Einkanalanalysator, Vielkanalanalysator etc. (Blockschaltbild und schematische Funktionsskizze der einzelnen Geräte).
- d) Aufnahme von Impulshöhenspektren mit einem Einkanalanalysator und einem Vielkanalanalysator; Einfluß der möglichen Spektrometereinstellungen.
- e) Einfluss der statistischen Verteilung von Photonen- und Elektronenanzahl im Szintillator bzw. an der Fotokathode auf die Halbwertsbreite der Impulshöhenanalyse („Zählstatistik“).

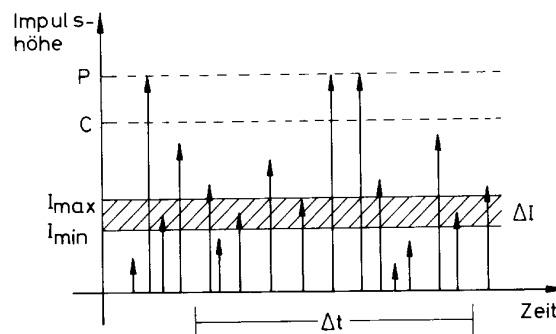


Fig. 1.11.3: Schematische Darstellung des Impulsspektrums eines Einkanal-Szintillationsspektrometers; P: Photoeffekt, C: COMPTON-Kante, I_{\min} , I_{\max} : minimaler, maximaler Schwellwert, ΔI : „window“.

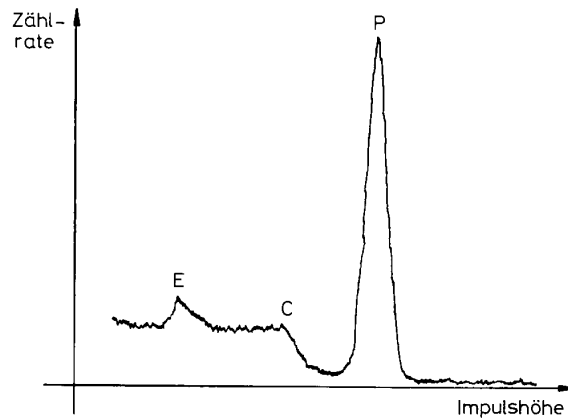
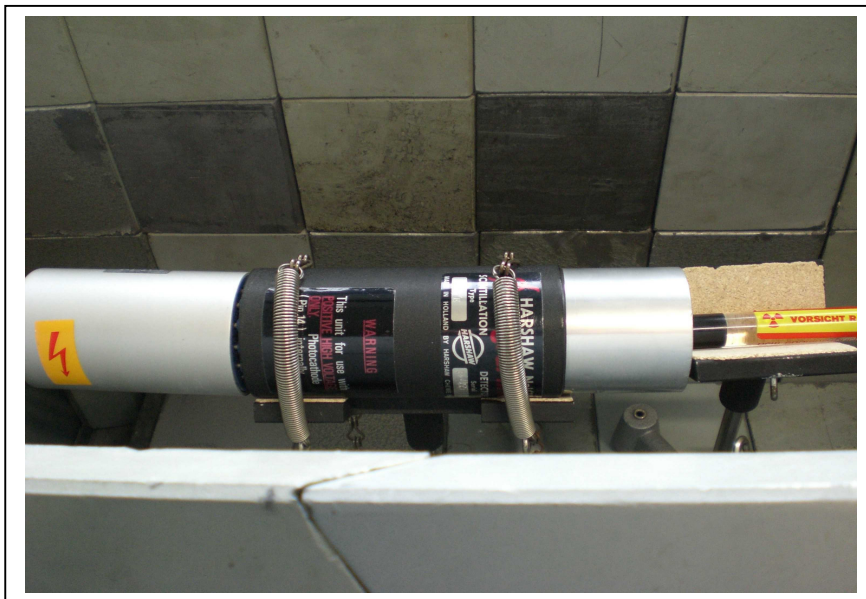


Fig. 1.11.4: Impulshöhenspektrum bei monoenergetischer γ -Strahlung mit Photopeak (P), COMPTON-Kante (C) und Escapepeak (E).

C. Anleitung zur Durchführung

Die Nuklide werden unmittelbar vor den Szintillationszähler angebracht. Dieser besteht aus einem mit Thallium dotierten NaJ-Kristall als Szintillator und einem darauf angepassten Photomultiplier. Die Betriebsspannung am Photomultiplier sollte zwischen 900 V und 1200 V liegen (Achtung: Keinesfalls überschreiten!). Der Multiplier liefert Strom- bzw. Spannungsimpulse, deren integrale Werte proportional zur Energie der γ -Quanten sind.



Einkanalanalysator

Zur automatischen Aufnahme der Spektren mit dem Einkanalanalysator wird eine Sägezahnspannung benutzt, um die Baseline (Impulshöhenobergrenze) linear bis 10 V zu variieren und die X-Ablenkung eines angeschlossenen Schreibers anzusteuern. Die Zählrate am Ratemeter kann von der Y-Ablenkung des Schreibers verstärkt aufgenommen werden. Die Kanalbreite des Differentialdiskriminators (Window) sollte zwischen 90 mV und 300 mV variiert werden.

Vielkanalanalysator

Ein Vorverstärker, der die Ladung im Photomultiplier auf einen Kondensator integriert, liefert am Ausgang einen zur Ladung proportionalen Spannungsimpuls. Im Hauptverstärker werden die Spannungsimpulse weiter verstärkt und auf eine GAUSS-Form gebracht, deren maximale Schwelle 10 V nicht überschreiten soll ($0 \text{ V} \leq U_0 \leq 10 \text{ V}$).

Durch elektronische Differentiation bzw. Integration über eine geeignete Zeitspanne können statistisch auftretende Schwankungen, die im Detektor selbst oder in den elektronischen Bauteilen entstehen, herausgemittelt werden. Die Zeitkonstante der Differentiation bzw. der Integration wird als *shaping time* τ_s bezeichnet ($0.5 \mu\text{s} \leq \tau_s \leq 10 \mu\text{s}$). Sie sollte genügend groß gewählt werden, um die maximale Amplitude des Impulses zu erfassen. Andererseits wird eine kleine *shaping time* gefordert, um die *Totzeit* zu minimieren. Letztere ist jene Zeitspanne, innerhalb der kein weiteres Ereignis registriert werden kann. Durch eine weitere Differentiation kann ein bipolares Ausgangssignal erzeugt werden, bei dem der Nulldurchgang an der Stelle des Maximums des Impulses erfolgt.

Der *Analog-Digital-Wandler* (ADC) wandelt die Amplitude des Impulses in eine zu ihr proportionale digitale Zahl. Diese Zahl wird in einem *Vielkanalspeicher* als Adresse eines Speicherplatzes, nämlich als Kanalzahl interpretiert. Der Inhalt des Speicherplatzes wird jeweils beim Eintreffen eines Pulses an diese Adresse bzw. mit dieser Amplitude um den Wert Eins erhöht. Demnach ist der Vielkanalspeicher eine Anzahl von Zählern, die einzeln vom ADC angesteuert werden. Zusammen mit dem AD-Wandler bildet der Vielkanalspeicher den *Vielkanalanalysator* (MCA). Die mehrfache Wiederholung der Addition eines Digitalwertes ergibt die Zählrate über der Kanalzahl oder die Häufigkeit der Impulse über der Impulshöhe, was als *Impulshöhenspektrum* bezeichnet wird. Eine Energiekalibrierung der Kanalzahlen ermöglicht die Umwandlung in ein Energiespektrum.

Die Anzahl der Kanäle, auf die der Eingangsspannungsbereich abgebildet wird, kann mit dem *gain*- und *range*-Schalter am ADC gewählt werden. Eine Gain-Einstellung von etwa $\frac{1}{2}$ bedeutet dann, dass der Eingangsspannungsbereich bis 10 V auf die Hälfte der gesamten Kanäle K aufgeteilt wird. In diesem Fall besitzt jeder Kanal eine Breite von $10 \text{ V} / (\frac{1}{2} K) = 20 \text{ V/K}$. Das Gain sollte so eingestellt werden, dass die Breite eines Kanals klein ist im Vergleich zum Auflösungsvermögen $\Delta E/E$ des Detektors. Eine Range-Einstellung von etwa $\frac{1}{2}$ bedeutet, dass nur solche Signale vom Vielkanalspeicher übernommen werden, die in die ersten $\frac{1}{2} K$ Kanäle fallen.

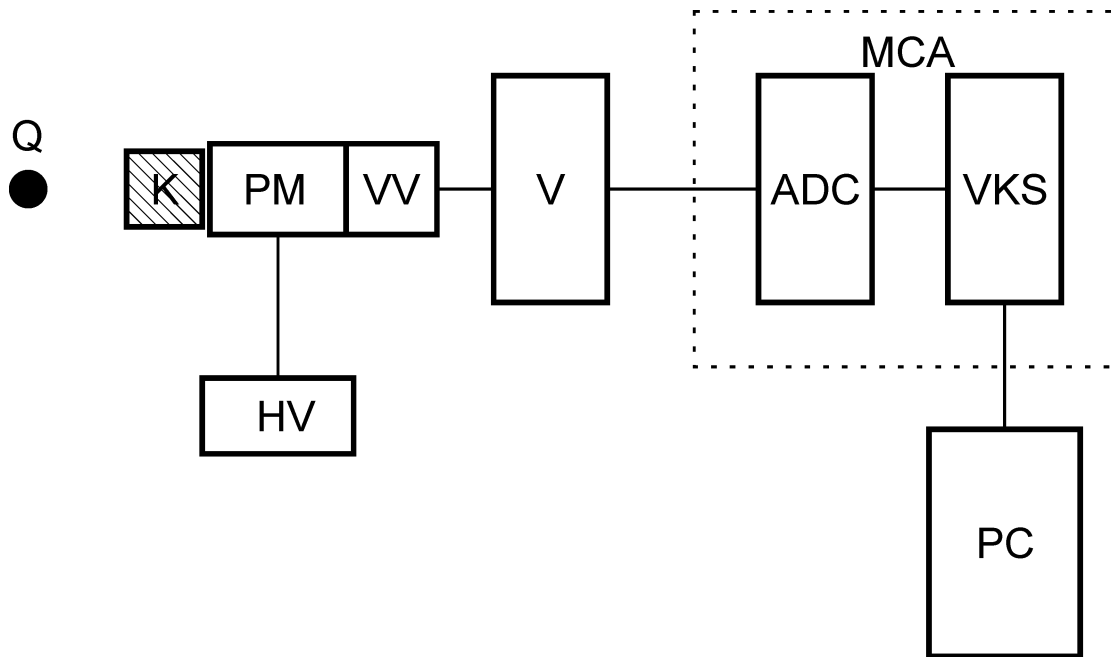


Fig. 1.11.5: Schematischer Aufbau eines γ -Spektrometers; Q: γ -Quelle, K: Szintillationskristall, PM: Photomultiplier, HV: Hochspannung, VV: Vorverstärker, V: Verstärker, ADC: Analog-Digital-Wandler, VKS: Vielkanalspeicher, MCA: Vielkanalanalysator, PC: Rechner.

Während der Digitalisierung eines analogen Signals im ADC und während der Speicherung im Vielkanalspeicher kann kein weiteres Signal registriert werden, so dass diese Zeitdauer als *Totzeit (dead time)* gilt. Bei hohen Zählraten kann die Totzeit bis zu mehreren Prozent der *Echtzeit (real time)* anwachsen, was zu vermeiden ist. Die Differenz aus Echtzeit und Totzeit ist die bei den Auswertungen maßgebliche *Zeit (live time)*.

Ein Drehpotenziometer am ADC erlaubt die Einstellung einer unteren Diskriminatorschwelle (*lower level discriminator LLD*) sowie einer oberen Diskriminatorschwelle (*upper level discriminator ULD*). Jene Impulse, die unterhalb der LLD-Schwelle bzw. oberhalb der ULD-Schwelle liegen werden nicht digitalisiert. Man erreicht damit ein Unterdrücken des Rauschens insbesondere bei niedrigen Impulshöhen, und verhindert so ein Anwachsen der Totzeit.

D. Geräte

^{22}Na , ^{60}Co , ^{137}Cs Nuklide (beim Assistenten)

Szintillationskristall NaJ/Tl optisch gekoppelt an einen Photomultiplier

optische Bank mit Reiter

nukleares Spektrometer (ELSCINT Mod. INS-11E)

X-Y-Schreiber

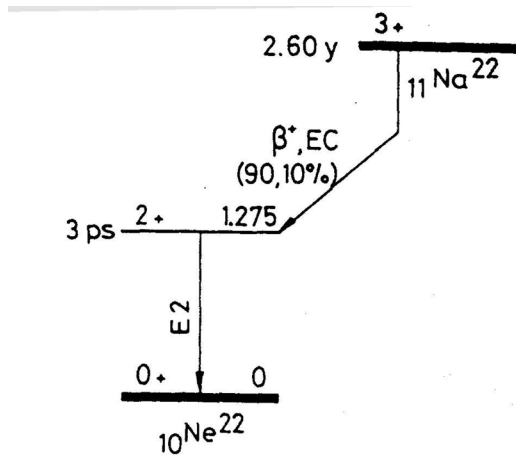
Hochspannungsnetzgerät ($U_{\max} = 1200 \text{ V}$)

Impulsverstärker (Mod. 2010)

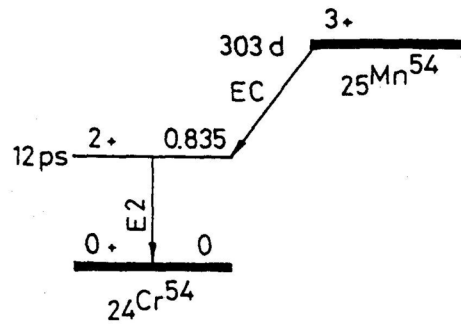
8K Analog-Digital-Konverter (SILENA Mod. 7411)
Vielkanalspeicher (Mod. MCA-3/P7882)
NIM-Überrahmen (NIM: nuclear instrument module)
PC (XP 3000+) und 17'' Monitor

E. Literatur

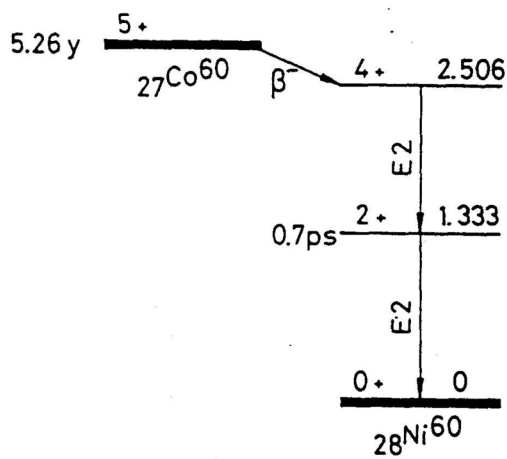
G. MUSIOL, J. RANFT, R. REIF, D. SELIGER, *Kern- und Elementarteilchenphysik* VCH, Weinheim, 1988
M. BÖHM, A. SCHARMANN, *Höhere Experimentalphysik* VCH, Weinheim, 1992
E. FÜNFER, H. NEUERT, *Zählrohre und Szintillationszähler* G. Braun, Karlsruhe, 1959
P. STOLL, *Experimentelle Methoden der Kernphysik* Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1966
H. FRAUENFELDER, E. HENLEY, *Teilchen und Kerne* R. Oldenbourg, München, Wien, 1999



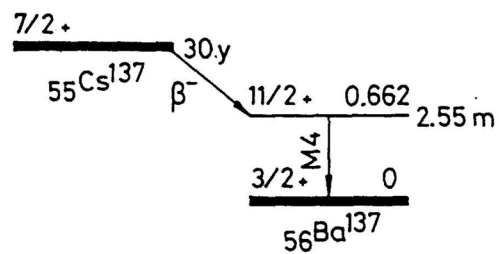
a)



b)



c)



d)

Kernniveauschemata (Energiewerte in MeV) mit Angaben über Lebensdauer, Kernspin, Parität und Multipolordnung der radioaktiven Isotope a) ^{22}Na , b) ^{54}Mn , c) ^{60}Co , d) ^{137}Cs .