

## 2.7. Paritätsverletzung beim $\beta$ – Zerfall

Versuchsanleitung zum Fortgeschrittenen-Praktikum

Abteilung C – Institut für Kernphysik

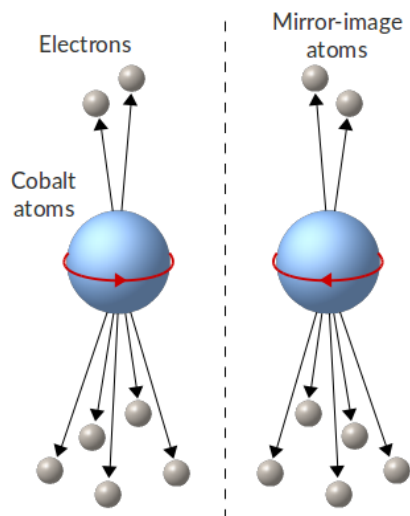


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Abb. 1: Experimentalphysikerin Wu und die Theoretiker Lee und Yang<sup>1</sup>

If parity conservation held true



Experimental results

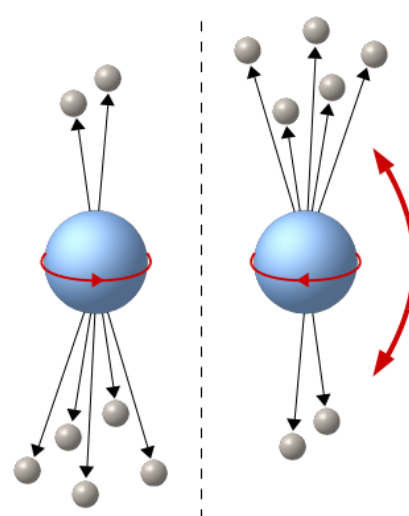


Abb. 2: Experimenteller Nachweis der Paritätsverletzung durch die Ergebnisse des Wu Experiments<sup>2</sup>

Die abgebildeten PhysikerInnen waren die Entdecker der Paritätsverletzung bei Prozessen der schwachen Wechselwirkung.

In diesem Praktikumsversuch folgen Sie, wenn auch mit einfacheren Mitteln, den Spuren dieser Physiker. Dabei wird der Paritätsbegriff vertieft und ein Zusammenhang mit der Polarisation von Elektronen und  $\gamma$ -Strahlung aufgezeigt. Außerdem lernen Sie Messmethoden dieser abstrakten Größe kennen sowie den im Praktikum zur Verfügung stehenden Compton- Polarimeter.

<sup>1</sup>Quelle: <http://physics.nist.gov/GenInt/Parity/cover.html>

<sup>2</sup>Quelle: <https://sciencenonfiction.org/2015/07/06/the-experiment-that-taught-us-what-left-means/>

## Vorbereitung

- **Radioaktive Zerfälle:** mögliche Zerfallsarten und deren Besonderheiten, Auftreten entlang der Nuklidkarte, Schwerpunkt  $\beta$ -Zerfall, Gefahren und Strahlenschutz
- **Grundbegriffe der Teilchenphysik:** Zuordnung von Grundbegriffen, elementare Teilchen, Aufbau des Kaons
- **Die vier Wechselwirkungen:** typische Prozesse, Vergleich, Erhaltungsgrößen
- **Parität:** polare und axiale Vektoren, skalare und Pseudoskalare,  $\Theta$ - $\tau$ -Rätsel
- **Bremsstrahlung:** Auftreten, Eigenschaften, Charakteristika von Bremsstrahlungsspektren
- **Polarisation:** polarisierte (Teilchen-)Strahlung, Helizität/Händigkeit
- **Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Materie:** energieabhängiges Auftreten verschiedener Effekte, Schwerpunkt Compton-Effekt
- **Szintillationsdetektoren und  $\gamma$ -Spektroskopie:** Grundlagen von Szintillatoren, Photomultipliern und Ausleseelektronik, Charakteristika von Gammaskpektren
- **Wu-Experiment:** Aufbau, Zerfall von  $^{60}\text{Co}$ , Nachweis der Paritätsverletzung
- **Versuchsspezifisches:** Compton-Polarimeter, Zerfall von  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{22}\text{Na}$

### Vorbereitende Aufgaben: siehe Seite 10

Überlegen Sie sich vor Versuchsbeginn welche Größen gemessen werden müssen und erstellen Sie einen Messplan, der sämtliche zu messenden Größen inkl. Fehlerangaben jedes Aufgabenteils enthält.

## Vorbereitende Literatur

- [1] T.D. Lee and C.N. Yang, Phys. Rev. **104**, p. 254 (1956)
- [2] C.S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes und R. P. Hudson, Phys. Rev. **105**, p. 1413 (1957)
- [3] W. Demtröder: Experimentalphysik 3 - Atome, Moleküle Und Festkörper - 5. Au. Berlin, Heidelberg : Springer, 2016. Kapitel: 3.1.5. ; 3.1.6. ; 7.5
- [4] W. Demtröder: Experimentalphysik 4 - Kern-, Teilchen- und Astrophysik. 4. Au. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. Kapitel: 3. ; 4.2.3. ; 4.3.2. ; 6.2. ; 7.2. ; 7.5. ; 7.6.
- [5] E. Schopper, Nucl. Instr. Meth. **3**, 158-176 (1958)

Weiterführende Literatur in der Literaturliste zum Versuch

# Einleitung

Bis 1956 wurde angenommen, dass in einer spiegelsymmetrischen Welt alles genauso abläuft, wie in der „wirklichen“ Welt. Diese Annahme galt auch für Prozesse, die der schwachen und der starken Wechselwirkung unterlagen.

Theoretisch wird die Transformation in die spiegelsymmetrische Welt durch den Paritätsoperator  $P$  beschrieben. Die Parität  $\pi$  ist durch die Eigenvektoren dieses Operators bestimmt. Die obige Annahme würde dann bedeuten, dass die Parität unter der Transformation  $P$  erhalten bleibt.

Einen ersten Hinweis darauf, dass die Erhaltung der Parität bei der schwachen Wechselwirkung nicht erfüllt ist, gab das  $\Theta$ - $\tau$ -Rätsel. Dabei handelt es sich um zwei Zerfallsarten des K-Mesons der Masse  $m_K = 966 m_e$ , wobei es in einem Fall als  $\Theta$ -Teilchen, im anderen Fall als  $\tau$ -Teilchen bezeichnet wird:

$$K^+ : \left\{ \begin{array}{l} \Theta^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0 \\ \tau \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \end{array} \right\}$$

Die Teilchen  $\Theta$  und  $\tau$  besitzen folgende Zustände:

$$\begin{array}{l} \tau^+ : 0^- \\ \Theta^+ : 0^+, 2^+, 4^+, \dots \end{array}$$

Dies sind aber Zustände, die nicht in der Parität übereinstimmen. Sonst weisen beide Teilchen jedoch gleiche Eigenschaften auf, so dass es nahe liegt, sie als identische Teilchen anzusehen. Dieser Widerspruch kann dadurch aufgehoben werden, dass  $\Theta$  und  $\tau$  doch als verschiedene Teilchen angesehen werden oder dass beim Zerfall von  $K^+$  die Parität nicht erhalten ist.

1956 gelang es dann Lee und Yang (Nobelpreis 1957) zum ersten Mal, die Möglichkeit einer Paritätsverletzung bei der schwachen Wechselwirkung zu diskutieren [1]. Der experimentelle Nachweis der Paritätsverletzung gelang ein Jahr später der Physikerin Wu bei der Untersuchung des  $\beta$ -Zerfalls von  $^{60}\text{Co}$  [2].

In diesem Praktikumsversuch soll auf eine experimentell weniger aufwändige Art die Symmetrieberechnung beim Beta-Zerfall von  $^{90}\text{Sr}$  überprüft werden.

Beim Zerfall werden longitudinal polarisierte Elektronen emittiert. Die Idee ist nun, die Polarisation der beim Zerfall in eine definierte Richtung emittierten Elektronen nachzuweisen. Unter Polarisation versteht man dabei eine feste Beziehung zwischen dem Spin- und Impulsvektor des Elektrons, welche durch das Skalarprodukt  $\vec{p} \cdot \vec{J}$  ausgedrückt werden kann, wobei  $\vec{p}$  = Impuls und  $\vec{J}$  = Drehimpuls (Spin) ist. Durch diese Größe wird ein bestimmter Schraubensinn (Händigkeit) ausgezeichnet. Eine Raumspiegelung dreht den Schraubensinn um. Dies kann durch eine kleine Rechnung nachgewiesen werden:

Zu bestimmen ist

$$P(\vec{p} \cdot \vec{J}) \tag{1}$$

$\vec{J}$  ist ein Drehimpuls und kann im Speziellen geschrieben werden als  $\vec{J} \sim \vec{r} \cdot \dot{\vec{r}}$ . Da sowohl  $\vec{r}$  wie auch  $\dot{\vec{r}}$  unter  $P$  ihr Vorzeichen ändern, bleibt das Vorzeichen von  $\vec{J}$  unter  $P$  erhalten ( $\vec{J}$  wird

daher auch *axialer Vektor* genannt, im Gegensatz zu  $\vec{p}$ , der als *polarer Vektor* bezeichnet wird, da  $\vec{p}$  unter der Transformation  $P$  sein Vorzeichen ändert). Das bedeutet dann

$$\vec{p} \cdot \vec{j} \xrightarrow{P} -\vec{p} \cdot \vec{j} \quad (2)$$

d.h.  $\vec{p} \cdot \vec{j}$  ist tatsächlich eine paritätsempfindliche Größe.

Misst man nun die Zahl links- und rechtshändiger Elektronen beim  $\beta$ -Zerfall und sind diese verschieden, so ist die für den  $\beta$ -Zerfall verantwortliche schwache Wechselwirkung offensichtlich nicht invariant gegenüber einer Raumspiegelung. Das bedeutet, dass die Parität für Prozesse der schwachen Wechselwirkung nicht erhalten bleibt.

## Physikalische Grundlagen

Die Parität ist, wie Lee und Yang zeigten, bei der schwachen Wechselwirkung nicht erhalten. Dies äußert sich in der Polarisation der Elektronen, die beim  $\beta$ -Zerfall emittiert werden. Diese sind links-zirkular polarisiert, falls Spin und Drehimpuls entgegengesetzt gerichtet sind. Gleiches gilt für Neutrinos, wohingegen die jeweiligen Antiteilchen rechts-zirkular polarisiert sind. Die Tatsache, dass Elektronen, welche aus einem  $\beta$ -Zerfall stammen, immer links-zirkular polarisiert sind, ist daher ein klares Zeichen für eine Symmetrieverletzung in der schwachen Wechselwirkung.

In Abb. 3 ist der im Praktikum verwendeten Versuchsaufbau für die Messung dieser Symmetrieverletzung skizziert. Die Elektronen, die von der  $^{90}\text{Sr}$ -Quelle emittiert werden, werden zunächst in einem Bleiabsorber gestoppt. Dabei dominiert der Energieverlust durch Ionisationsprozesse und nur ein kleiner Teil der kinetischen Energie wird in Bremsstrahlung umgewandelt. Falls die Primär-Elektronen polarisiert waren, wird ihre Polarisation auf die Bremsstrahlungsquanten übertragen. Die Polarisation ist definiert als

$$P = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-} \quad (3)$$

wobei  $n^+$  und  $n^-$  die Anzahl der  $\gamma$ -Quanten der jeweiligen Polarisation sind.

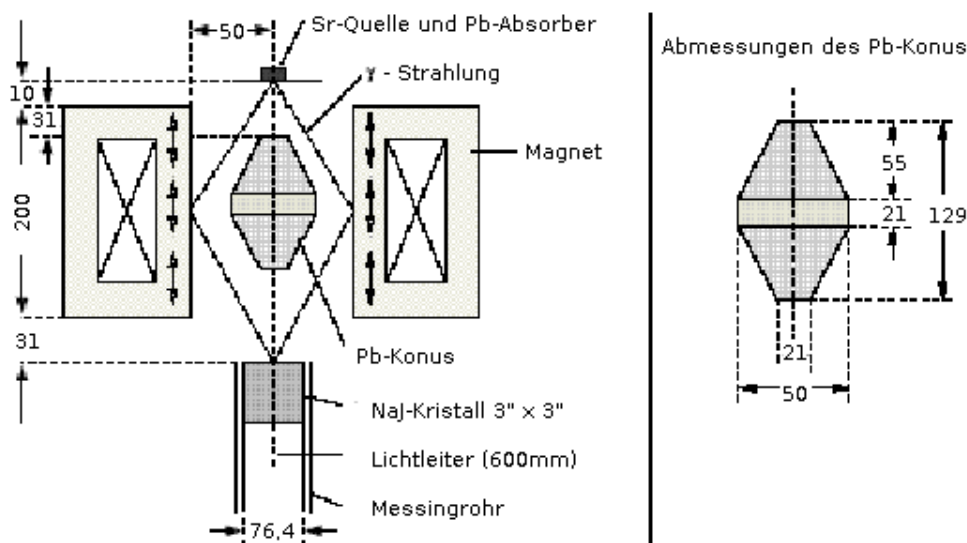


Abb. 3: Geometrie der experimentellen Anordnung. Alle Maßangaben sind in mm. Die Zeichnung ist nicht maßstabsgemäß.

Die Polarisation der  $\gamma$ -Quanten kann mit Hilfe eines Compton-Polarimeters gemessen werden. Falls also eine bevorzugte Polarisation der  $\gamma$ -Quanten nachgewiesen werden kann, bedeutet dies, dass auch die Elektronen beim  $\beta$ -Zerfall eine Polarisation bevorzugen und somit die Raumspiegelungssymmetrie brechen.

Zu deren Nachweis werden die Bremsstrahlungsquanten im Compton-Polarimeter an den Atomen einer Eisenschicht gestreut, deren Valenzelektronen durch Anlegen eines Magnetfeldes ausgerichtet wurden. Die Anzahl der gestreuten  $\gamma$ -Quanten kann anschließend in einem NaJ-Detektor gezählt werden. Der Streuquerschnitt am Eisen ist dabei von der relativen Orientierung des Elektronenspins zum Spin der  $\gamma$ -Quanten abhängig und berechnet sich nach dem Klein-Nishina-Wirkungsquerschnitt zu

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left( \frac{k}{k_0} \right)^2 \cdot (\Phi_0 + f \cdot \mathbf{P} \cdot \Phi_H) \quad (4)$$

$\Phi_0$  ist dabei der polarisationsunabhängige Teil der Klein-Nishina-Formel, der sich nach

$$\Phi_0 = 1 + \cos^2 \omega + (k_0 - k) (1 - \cos \omega) \quad (5)$$

berechnet.  $\Phi_H$  ist der Teil, der von der relativen Spinorientierung abhängt. Hierfür gilt

$$\Phi_H = -(1 - \cos \omega) [(k_0 + k) \cos \omega \cdot \cos \psi + k \cdot \sin \omega \cdot \sin \psi \cdot \cos \phi] . \quad (6)$$

In den Gleichungen (4) – (6) haben die Größen folgende Bedeutung:

$r_0$	klassischer Elektronenbahnradius,
$k_0, k$	Impuls des Photons vor bzw. nach dem Stoß (in Einheiten der Elektronenruhemasse, d.h. es gilt $E = k \cdot E_{\text{Ruhe}}$ ),
$f$	Anteil der ausgerichteten Eisenelektronen,
$P$	Polarisationsgrad der $\gamma$ -Quanten und Elektronen der $\beta$ -Quelle,
$\omega$	Winkel zwischen $k_0$ und $k$ (Streuwinkel),
$\psi$	Winkel zwischen der Impulsrichtung $k_0$ des einfallenden $\gamma$ -Quants und dem Spin $S$ der Elektronen der Eisenatome
$\phi$	Winkel zwischen $k_0$ - $k$ Ebene $k_0$ -Spin Ebene.

Zur Verdeutlichung der Lage der Winkel, die sich aus der Geometrie des Aufbaus (vgl. Abb. 3) ergeben, dient Abb.4.

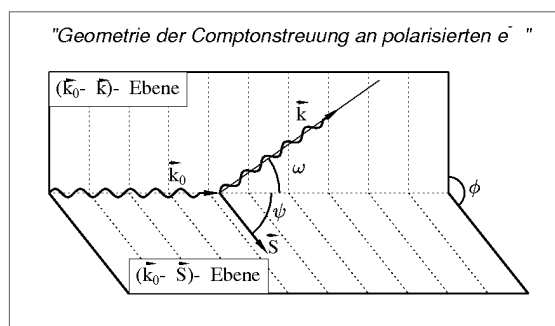


Abb. 4: Geometrie der Comptonstreuung an polarisierten Elektronen.

Falls also die primären  $\gamma$ -Quanten polarisiert sind, ist die Anzahl der im Detektor registrierten, gestreuten  $\gamma$ -Quanten proportional zum Streuwinkelquerschnitt (Gl. 4). Wird der Spin der magnetisierten Eisenelektronen durch das Umpolen des Magneten umgekehrt ( $\Rightarrow \psi$  wird zu  $\psi + \pi$ ), ändert sich entsprechend auch der Streuwinkelquerschnitt, so dass nun die andere Polarisationsrichtung der  $\gamma$ -Quanten bevorzugt wird. Für den Zählrateneffekt ergibt sich demnach

$$\eta = \frac{z^+ - z^-}{z^+ + z^-} = \frac{f \cdot P \cdot (\Phi_H - \tilde{\Phi}_H)}{2\Phi_0 + f \cdot P \cdot (\Phi_H + \tilde{\Phi}_H)} \quad (7)$$

wobei gilt

$$z^+ = z(\psi) \quad , \quad z^- = z(\psi + \pi) \quad , \quad \tilde{\Phi}_H = \Phi_H(\psi + \pi) = -\Phi_H \quad (8)$$

Mit (8) vereinfacht sich (7) zu

$$\eta = P \cdot f \cdot \frac{\Phi_H}{\Phi_0} = P \cdot A \quad (9)$$

Der Faktor  $A = f \cdot \frac{\Phi_H}{\Phi_0}$  hängt dabei nur vom Polarimeter ab. Die Größen  $f$  und  $\frac{\Phi_H}{\Phi_0}$  ergeben sich wie folgt:

- $\Phi_H / \Phi_0$ :<sup>3</sup>

Für die Winkel gilt:  $\omega = 45,33^\circ$ ,  $\psi = 155,56^\circ$ ,  $\phi = 0$  (Verifizieren sie diese Angaben unter der Annahme, dass die Streuung hauptsächlich in der Mitte des Magneten stattfindet!!).

- Der Faktor  $f$  :

$f$  gibt den Anteil polarisierter Elektronen im Eisen wieder. Er hängt daher mit der Magnetisierung, der magnetischen Flussdichte und Feldstärke wie folgt zusammen:

$$B = \mu_0(H + f \cdot Z \cdot N_V \cdot \mu_B) \quad (10)$$

<sup>3</sup> Für Interessierte oder diejenigen, die die Werte für  $\Phi_H / \Phi_0$  lieber berechnen als ablesen, hier die Vorgehensweise zur Berechnung der Kurve:

Es gilt  $E = 0,511 \cdot k$ . Bei Comptonstreuung gilt  $k_0 = k / [1 - k \cdot (1 - \cos \omega)]$ . Damit kann in (5) und (6)  $k_0$  durch  $k$  ausgedrückt werden und  $k$  wiederum durch die gemessene  $\gamma$ -Energie  $E$ . Einsetzen der Werte der für  $E$ ,  $\omega$ ,  $\psi$  und  $\phi$  ergeben dann die Werte für  $\Phi_H / \Phi_0$ .

Hierbei gilt:

$$\begin{aligned}
 H &= 6,207 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1} \cdot I \\
 B &= 1,25 \pm 0,05 \text{ T bei } I = 3 \text{ A} \\
 N_V &= \text{Atome pro Volumeneinheit} \\
 \rho(\text{Fe}) &= 7,86 \text{ g/cm}^3 \\
 Z(\text{Fe}) &= 26 \\
 \mu_B &= 9,273 \cdot 10^{-24} \text{ J/T} \\
 \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}
 \end{aligned}$$

Durch die Messung des  $\gamma$ -Spektrums kann dann die Polarisation  $P(E_\gamma)$  bestimmt werden und mit der groben Näherung  $P(E_\gamma) \cong P(E_{e^-})$  die energiespezifische Polarisation der Elektronen. Ob Paritätsverletzung vorliegt kann durch einen Plot der Polarisation der Elektronen  $P(E_{e^-})$  über dem relativistischen Faktor  $\beta = v/c$  des Elektrons bestimmt werden, da die Theorie hier die Voraussage  $|P| = \beta$  trifft. Für  $\beta = 1$  sollte die Parität dann maximal verletzt sein.

## Experimenteller Aufbau und Elektronik

Zur Verfügung stehen eine  $^{22}\text{Na}$ -Quelle zur Energiekalibration des Spektrums und eine  $^{90}\text{Sr}$ -Quelle ( $e^-$ -Strahler, 10 mCi am 17.01.1983) mit einem 1 mm dicken Bleiabsorber zur Erzeugung der Bremsstrahlung (Zerfallsschemata siehe Anhang).

Zur Messung des Polarisationsgrades der Bremsstrahlung wird ein Compton-Polarimeter (vgl. Abb. 3) verwendet. Dieses besteht aus einem zylindrischen Streumagnet mit einem Bleikonus, der die direkte Strahlung abschirmt. Als Detektor wird ein NaJ-Kristall mit einem 600 mm langen Lichtleiter und einem Photomultiplier benutzt. Der lange Lichtleiter dient dazu, einen großen Abstand zwischen Polarimeter und Photomultiplier herzustellen, damit möglichst wenige  $\gamma$ -Quanten durch den Photomultiplier direkt gemessen werden.

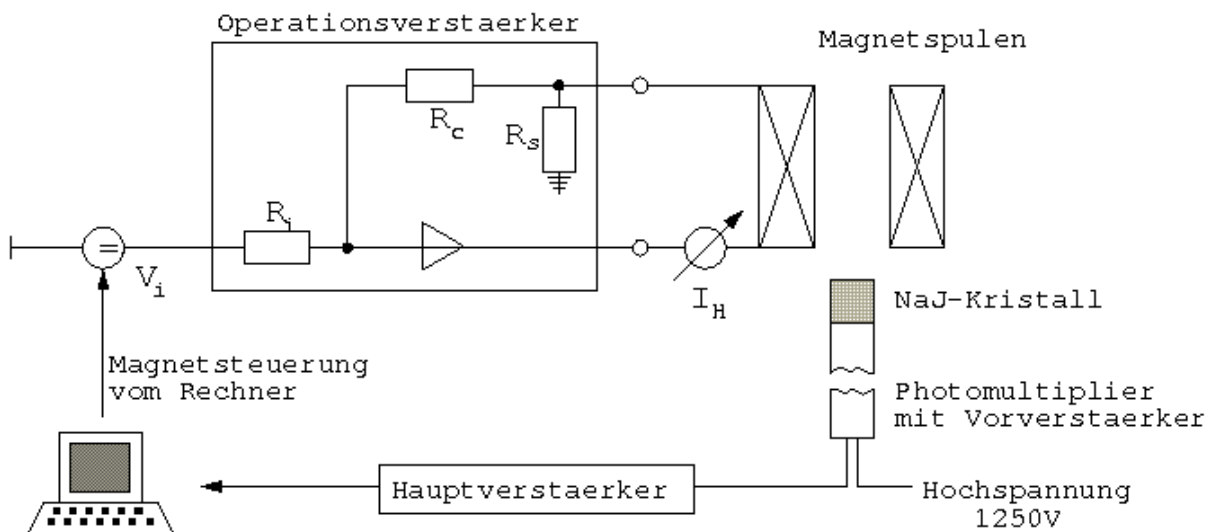


Abb. 5: Elektronik des Versuchsaufbaus.

Die Signale werden durch einen Vorverstärker und einem Timing-Filter-Amplifier verstärkt und von einem ADC eingelesen. Der ADC und der Magnetstrom werden von einem Rechner (PC-XT) über einen Operationsverstärker so gesteuert, dass die Ereignisse, die zu der einen Spineinstellung der Eisenelektronen gehören, immer in den Speicherbereich ADC 1 und die anderen Ereignisse zur entgegengesetzten Spineinstellung in den Speicherbereich ADC 2 eingelesen werden (vgl. Abb. 5). Die „Plateauzeit“  $T$  sowie die Stromstärke  $I$  können über den Rechner eingestellt werden. Vor jeder Messung wird für eine Sekunde ein erhöhtes Magnetfeld eingestellt, um somit eine maximale Ausrichtung der Elektronen im Eisen zu erreichen (vgl. Abb. 6). Die gemessenen Spektren werden von dem Vielkanalanalysatorprogramm GDIS (H. Jäger, Diplomarbeit TUD) unter MS Windows 2.0 dargestellt.

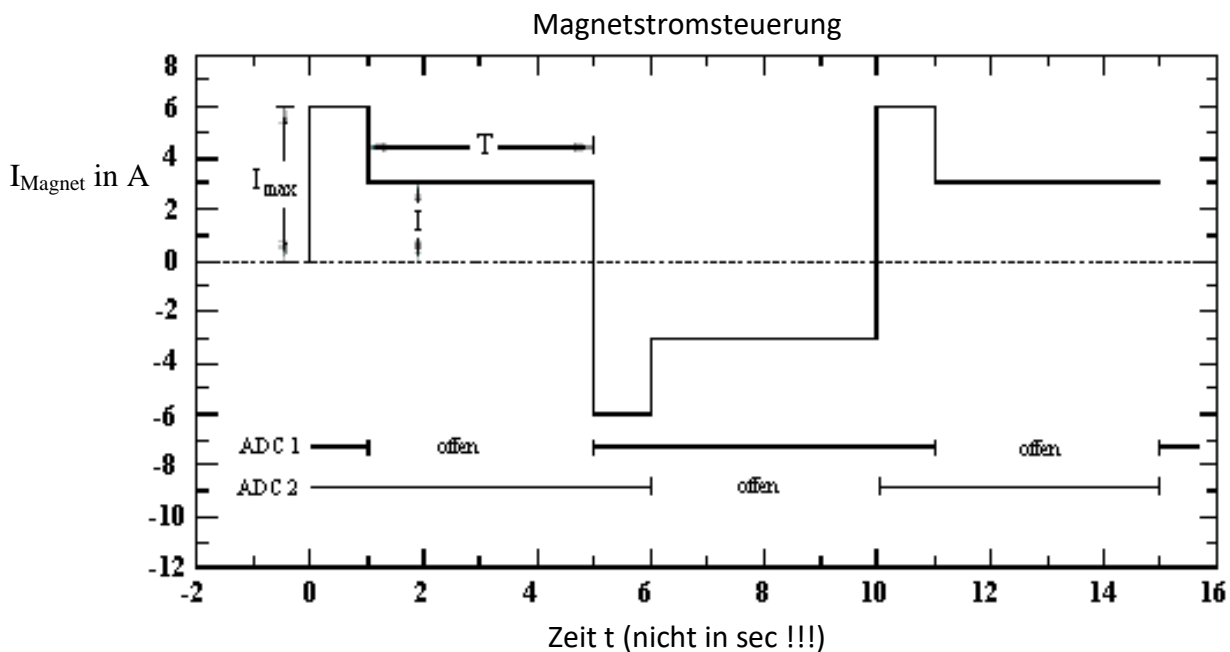


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf des Magnetstromes und Steuerung der Speicherbereiche ADC 1 und ADC 2.

## Versuchsdurchführung:

*Vor den Messungen muss die Hochspannung von 1,25kV mindestens 30 min anliegen, damit sich die Verstärkung stabilisiert!*

*Notieren Sie sich zu jeder Messung die Messdauer, da weder die Zeitangabe des Programms GDIS noch die der Magnetsteuerung mit der Echtzeit übereinstimmen!*

- Kalibrieren Sie mit Hilfe einer  $^{22}\text{Na}$ -Quelle das Energiespektrum. Fahren Sie dazu den Detektor aus der Magnetanordnung heraus und platzieren Sie die Quelle direkt auf dem NaJ-Detektor. Die Messdauer sollte mindestens 20 min betragen, um genügend gute Statistik zu erhalten.  
Überprüfen Sie, ob mit der Verstärkung die zu erwartende, Compton-gestreuete Bremsstrahlung der  $^{90}\text{Sr}$ -Quelle vollständig gemessen werden kann.



- Überprüfen Sie experimentell auf geeignete Weise, ob die Versuchsbedingungen bei der rechnergesteuerten Umpolung der Magnetfelder konstant sind. Insbesondere sind dabei die Kanalöffnungszeiten und der Einfluss der Magnetfelder auf die Nachweiswahrscheinlichkeit der Detektoranordnung zu betrachten.
- Messen Sie die energieabhängige Zirkularpolarisation des Bremsstrahlungsspektrums von  $^{90}\text{Sr}$  über ca. 20 h. Der Rechner übernimmt die Umpolung des Magnetfeldes und die Steuerung des ADC-Gates.
- Messen Sie den Untergrund über eine Zeit von mindestens 1 h.
- Konvertieren Sie Ihre Daten mit Hilfe des Befehls „bin2asc“ auf der DOS-Ebene.

## Auswertung

### 1. Kanalzusammenfassung

Überlegen Sie, wie viele Kanäle zusammengefasst werden können, um die Statistik zu verbessern, ohne aber dabei die Energieauflösung zu verlieren.

Vergleichen und diskutieren Sie in Aufgabe 2c) bei der Auswertung des Na-Spektrums während die Ergebnisse mit und ohne Kanalzusammenfassung.

### 2. Natrium Daten

- Erklären Sie die im Spektrum auftretenden Peaks.
- Energiekalibration: Ermitteln sie eine Kalibrationsfunktion  $E = f(\text{Kanalzahl})$  für die  $^{22}\text{Na}$ -Spektren mit und ohne zusammengefassten Kanäle und bestimmen Sie die Energieauflösung  $\Delta E$ .
- Diskutieren Sie die von Ihnen vorgenommene Kanalzusammenfassung für das  $^{22}\text{Na}$ -Spektrum.
- Apparativ vorgetäuschte Polarisation: Nutzen Sie die  $^{22}\text{Na}$ -Messung aus, um eine evtl. apparativ vorgetäuschte Polarisation feststellen zu können. Berechnen Sie hierzu den Zählrateneffekt und stellen Sie ihn graphisch über der  $\gamma$ -Energie dar. Führen Sie einen  $\chi^2$ -Test für die Verträglichkeit der Messpunkte mit der Null durch.  
Falls eine apparativ vorgetäuschte Polarisation vorliegen sollte, beachten Sie diese bei der weiteren Auswertung!

### 3. Strontium Daten

- Bremsstrahlungsspektrum*: Plotten Sie die Bremsstrahlungsspektren mit und ohne zusammengefassten Kanäle.
- Endpunktenergie im Bremsstrahlungsspektrum*: Stellen Sie den Bereich des Bremsstrahlungsspektrums zwischen  $E_\gamma = 700 \text{ keV}$  und  $E_\gamma = 1100 \text{ keV}$  ohne

---

Kanalzusammenfassung vergrößert dar und bestimmen Sie so aus den experimentellen Daten die Endpunktsenergie  $E_{\text{end, exp}}$ . Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der in der Vorbereitung theoretisch bestimmten Endpunktsenergie. Erklären Sie mögliche Abweichungen!

- (c) *Polarisationsgrad*: Bestimmen Sie den Polarisationsgrad  $P(v/c)$  über  $v/c$  auftragen. Beachten Sie hierbei, dass  $v/c$  aus den Primärenergien  $E_\beta$  zu berechnen ist! Fitten sie an Ihre Datenpunkte eine Gerade und vergleichen Sie das Ergebnis mit den theoretischen Überlegungen.

Geben sie in Form einer Tabelle die Werte  $E_\gamma$ ,  $E_\beta$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ ,  $\Delta\eta$ ,  $\Phi_H/\Phi_0$ ,  $P(v/c)$ , und  $\Delta P(v/c)$  an! Vernachlässigen Sie in Ihrer Berechnung des Zählrateneffektes den Untergrund!

#### 4. Fehlerberechnung

- (a) Diskussion: Diskutieren Sie die Ergebnisse, und erläutern Sie, wie sich systematische Fehler und Vereinfachungen auswirken.
- (b) Messzeitabschätzung: Wie lange müsste gemessen werden, um den Polarisationsgrad bei der aus den Messdaten abgelesenen Endpunktsenergie unter Berücksichtigung des Untergrundes auf besser als 1% zu bestimmen?

## Vorbereitende Aufgaben

1. Gehen Sie die auf Seite 2 aufgelisteten Stichpunkte durch und bereiten Sie diese für die Vorbesprechung vor. Literaturhinweise sind ebenfalls auf Seite 2 vermerkt.
2. Überlegen Sie sich vor Versuchsbeginn welche Größen gemessen werden müssen und erstellen Sie einen Messplan, der sämtliche zu messenden Größen inkl. Fehlerangaben jedes Aufgabenteils enthält.
3. Bestimmen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen der Energie  $E_\gamma$  der im Polarimeter detektierten  $\gamma$ -Quanten und der Energie  $E_\beta$  der Elektronen in einem Bremsstrahlungsprozess auf ein  $\gamma$ -Quant übergeht. Bestimmen Sie damit die theoretische Endpunktsenergie  $E_{\text{end, theo}}$  des Bremsstrahlungsspektrums!
4. Schätzen Sie unter Verwendung des Moseleyschen Gesetzes die Lage der charakteristischen Linien des im Absorber erzeugten Röntgenspektrums ab.
5. Vergleichen Sie den hier verwendeten Versuchsaufbau mit dem des Wu-Experiments. Worin unterscheiden sich die Messprinzipien und welche Vorteile und Nachteile bietet dieser Aufbau?

## Interessante Links im Web rund um die Parität:

1. <http://physics.nist.gov/GenInt/Parity/cover.html> (→ Virtuelles Museum)
2. <http://www.kph.uni-mainz.de/A4/blog/> (→ Paritätsverletzung bei der Elektronstreuung)
3. <http://www.lkb.ens.fr/recherche/parite/> (→ Paritätsverletzung in Atomen)

## Anhang: Zerfallsschemata der verwendeten Quellen

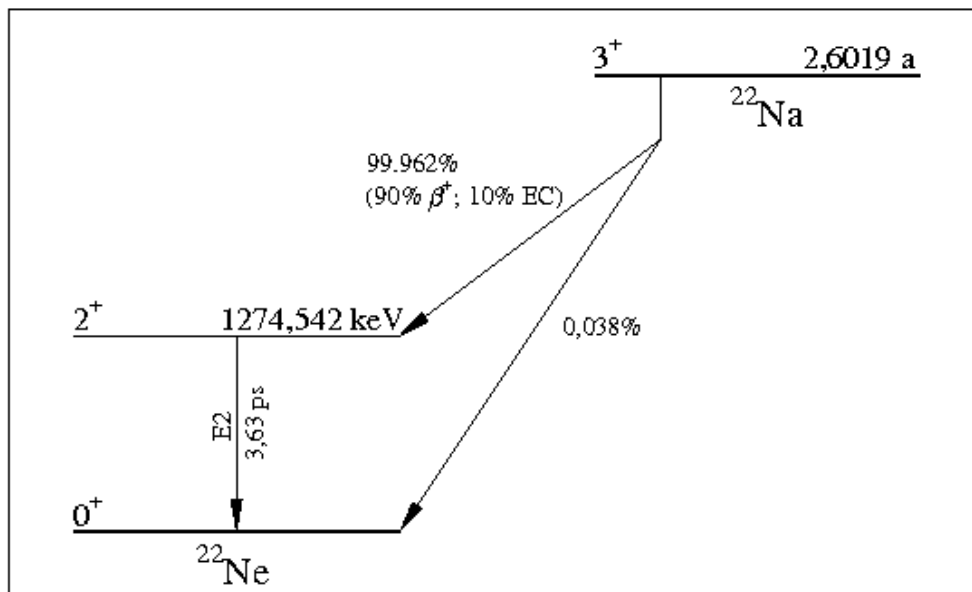


Abb. 7: Zerfallsschema von  $^{22}\text{Na}$ .

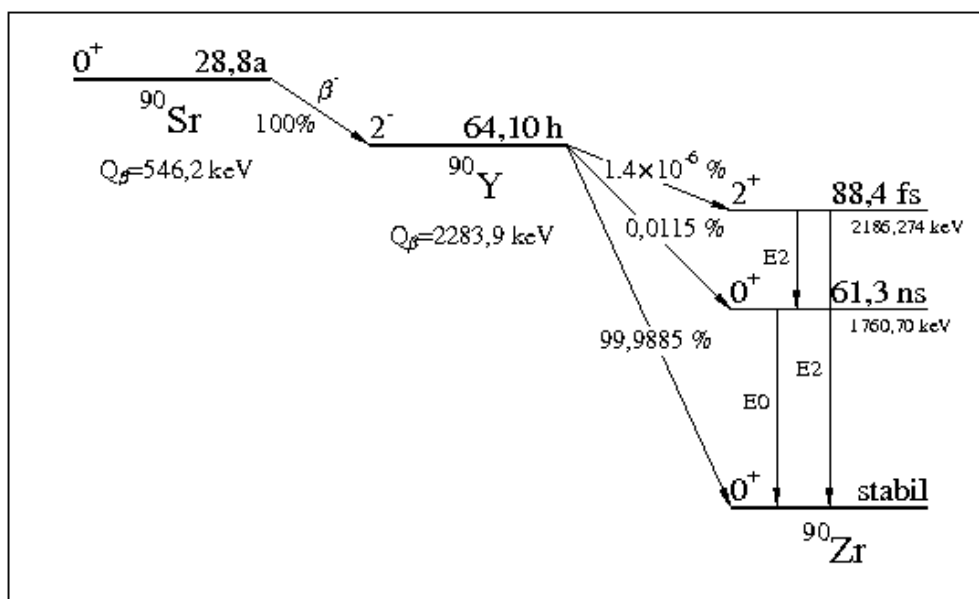


Abb. 8: Zerfallsschema von  $^{90}\text{Sr}$ .