

**Experimente**  
**zur Einführung in**  
**kernphysikalische Fragestellungen:**

- **Nachweis von  $\gamma$ -Strahlung mit Hilfe von Szintillationsdetektoren**
- **Radioaktiver Zerfall durch Emission von  $\alpha$ -Teilchen**

**Anmerkungen zum Schülerpraktikum**  
**für Physik-Leistungskurse**  
**am**  
**II.Physikalischen Institut, Universität Gießen**

R.Novotny

überarbeitete Version  
Januar 1999

**Zusammenfassung**

Im Rahmen verschiedener kleinerer Testversuche sollen dem Schüler einige experimentelle Grundprinzipien zum Nachweis nieder- und hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung nahegebracht werden. Neben den physikalischen Eigenschaften der  $\gamma$ -Strahlung, z.B. der Absorption in Materie, werden Nachweisgeräte und deren Funktionsprinzipien kennengelernt. Der natürliche radioaktive Zerfall wird an Hand der  $\alpha$ -Emission diskutiert. Die stark ionisierende Wirkung sowie die charakteristischen kinetischen Energien von  $\alpha$ -Teilchen werden experimentell verifiziert.

Apparative Hilfsmittel wie ein digitaler Speicheroszillograph, extrem schnelle Analog- und Digital-Elektronik und Datenverarbeitung mit einem Hochleistungs-Computer-Arbeitsplatz werden im Rahmen der Experimente und Analysen vorgestellt und verwendet.

Die Analyse der Meßergebnisse soll Einblicke geben in statistische Methoden, Fehlerbetrachtungen sowie in Grundprinzipien der Detektorkalibration.

Im Rahmen der allgemeinen Diskussionen soll ein Überblick in die Struktur des Instituts, die Arbeitsgruppen, das Lehr- und Forschungsprogramm sowie die Finanzierung von Forschung und Lehre gegeben werden. Am Beispiel des Forschungsprojektes TAPS werden internationale Kollaborationen sowie die Einbindung der Physikstudenten im Rahmen der Diplomausbildung und die sich daraus ergebenden Anforderungen und Berufserfahrungen erläutert.

## 1. Einführung

Es werden die Struktur des Instituts (Infrastruktur, Werkstätten, Computernetzwerk etc.), die einzelnen Arbeitsgruppen sowie die Forschungsschwerpunkte kurz diskutiert. Als typisches Forschungsvorhaben wird das sog. **TAPS-Projekt** vorgestellt. Hierbei werden die Einbeziehung von Studenten im Rahmen von Diplom- oder Doktorarbeiten, die Bedeutung von Grundlagenforschung auch im Hinblick auf praxisnahe Ausbildung und die typische Arbeit eines Physikers in der Forschung erläutert. Dieses Projekt zeigt auf, daß zur Durchführung komplexer Experimente und der Extraktion physikalischer Forschungsergebnisse, ein langjähriges Entwicklungs- und Planungsprogramm erforderlich ist. Projektstudien, Aufbau einer großen Kollaboration, Prototypentwicklungen, Finanzplanung und Realisierung sowohl in technischen Werkstätten (Mechanik, Elektronik) als auch Detektorlabors zeigen den Zusammenhang und die engen Parallelen zu dem späteren Aufgabengebiet eines Physikers in der Industrie. Dies gilt nicht nur für die Planung physikalisch-technischer Projekte.

**Stichpunkte:** *Experimentplanung, Kollaborationen, internationale Zusammenarbeit und Finanzierung, Bedeutung von Teamarbeit und Sprachkenntnissen, Detektorentwicklung, technische Planung und Ausführung in eigenen elektronischen und mechanischen Werkstätten, Durchführung von Experimenten an in- und ausländischen Forschungseinrichtungen, Zusammenarbeit mit Industrie, Einarbeitung der Diplom- und Dissertations-Studenten in ein neues Arbeitsgebiet.*

Die Forschungsziele, d.h. Untersuchung von Kernmaterie unter extremen Bedingungen und die Relevanz zu anderen Arbeitsgebieten, z.B. Astrophysik und Elementarteilchen-Physik werden kurz erläutert. Aus der Zielsetzung ergibt sich die instrumentelle Anforderung an ein Detektorsystem zum Nachweis sehr hochenergetischer Photonen - im Energiebereich bis zu einigen GeV(!).

**Stichpunkte:** *Eigenschaften von Kernmaterie, Aufbau des Atoms bzw. des Atomkerns, Stabilität, Kernkräfte, angeregte Kerne, Abregungsmechanismen im Vergleich zu denen der Atomhülle, Radioaktiver Zerfall, Lebensdauer, natürliche Radioaktivität, Isotopentabelle, Supernova-Explosion, Phasendiagramm, Elementarteilchen, Mesonen, Pion, Eta-Meson, REaktionstypen von Schwerionenreaktionen*

### 1.1. Optional: Vortrag über Anwendung der Schwerionen-Physik in der Medizin an Hand der Tumorthherapie mit Schwerionen an der GSI in Darmstadt

Basierend auf der für Schwerionen spezifischen Wechselwirkung in Materie bzw. menschlichem Gewebe wird an der GSI in Darmstadt ein gerasterter, fein fokussierter und in der Energie variabler Teilchenstrahl hochenergetischer Schwerionen zur Bestrahlung von Tumorzellen eingesetzt. Dies erfolgt vor allem bei Patienten, für die herkömmliche chirurgische Eingriffe nicht möglich sind. Im Vortrag werden die Möglichkeiten und Vorteile gegenüber herkömmlichen Bestrahlungsmethoden sowie der Praxisbezug der in diesem Beispiel wegbereitenden Erfahrungen aus der reinen Grundlagenforschung erläutert.

Dieses aktuelle Beispiel zeigt das Ineinandergreifen von Grundlagenforschung und Anwendung. An Hand der Diskussion kann gezeigt werden, daß langjährige Untersuchungen der Schwerionen-Reaktionen, der Wechselwirkung ionisierender Strahlung in Materie und moderne

Nachweismethoden, die ursprünglich ausschließlich in kernphysikalischen Experimenten zum Einsatz kamen, zu neuen - hier medizinischen Behandlungsmethoden Anstoß geben können.

**Stichpunkte:** Beschleunigerprinzipien, GSI, Energieverlust von Schwerionen in Materie, Positron-Emission-Tomography (PET), Krebstherapie, Therapieplan

## 1.2. Optional: Untersuchung der Struktur des Nukleons durch sog. photonukleare Reaktionen

Ein Teil des Forschungsprogramms des Photonenspektrometers TAPS nutzt hochenergetische Photonen bis zu Energien von 800 MeV zur Untersuchung der Eigenschaften der Bausteine der Atomkerne, der Nukleonen. Es wird eine kurze Einführung in die experimentellen Methoden und die Forschungsziele gegeben.

**Stichpunkte:** Eigenschaften von Photonen, Energiemarkierte Photonen, Bremsstrahlung, Struktur des Nukleons, Quarks, angeregte Zustände, Resonanzen, Mesonen, Zerfall der angeregten Zustände über Mesonenemission

## 2. Physikalische Grundbegriffe

### 2.1. Was ist elektromagnetische Strahlung

#### **Themen:**

- Eigenschaften des Lichtes ( $E = h \cdot \nu$ ,  $c = \lambda \cdot \nu$ )
- Wellenlängenbereiche (Wärmestrahlung, sichtbares Licht, UV-Licht, Röntgenstrahlung,  $\gamma$ -Strahlung)
- Entstehungsmechanismen (Vgl. mit sichtbarem Licht)
- in der Atom- und Kernphysik übliche Einheiten

#### **Versuch: 2.1.1**

##### Wechselwirkung von $\gamma$ -Strahlung mit Materie

Untersuche mit Hilfe eines einfachen Geiger-Müller Zählers die Absorption von  $\gamma$ -Strahlung in Blei und Aluminium. Trage die Abschwächung der Intensität mit wachsender Absorberdicke graphisch auf und bestimme den sog. Massenabschwächungs-Koeffizienten. (Siehe Praktikumsanleitung)

**Stichpunkte:** radioaktive Quellen, Strahlenschutz, Geiger-Müller-Zähler, Analyse mit einfacher PC-Software bzw. auf logarithmischen Papier

Der Versuch kann später nochmals mit anderen Meßmethoden, d.h. einem von den Teilnehmern selbst zusammengebauten Plastik-Szintillationsdetektor wiederholt werden. Unterschiede in den erzielten Resultaten werden diskutiert.

Im Anschluß an den Versuch werden die verschiedenen Wechselwirkungsmechanismen von Photonen mit Materie, wie **Photoeffekt**, **Comptonstreuung** und **Paarbildung** diskutiert. Es wird das Meßprinzip eines Geiger-Müller Zählers besprochen und auf die instrumentellen

Nachteile hingewiesen. Der Begriff des **elektromagnetischen Schauers** wird erläutert, um den grundsätzlichen Unterschied beim Nachweis hochenergetischer Photonen (viele MeV, GeV) zu verstehen.

**Stichpunkte:** *Photoeffekt, Compton-Effekt, Paarbildung, Bremsstrahlung, elektromagnetischer Schauer, idealer Photonendetektor, Kalorimeter*

## 2.2 Radioaktiver Zerfall

Am Beispiel des  $\alpha$ -Zerfalls wird die natürliche Radioaktivität besprochen. Die verschiedenen Zerfallsmechanismen werden an Hand der Bindungseigenschaften der Kernmaterie erläutert. In diesem Zusammenhang wird die Stabilität unterschiedlicher Isotope, Energiegewinn durch Fusion oder Spaltung sowie die Charakterisierung der Zerfallsprozesse durch Aktivität, Lebensdauer, Halbwertszeit und Zerfallsenergien diskutiert. Als Beispiele dienen die in Experimenten eingesetzten typischen radioaktiven Eichquellen.

**Stichpunkte:** *Gesetz des radioaktiven Zerfalls, Herleitung aus der Differentialgleichung,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Zerfall, Lebensdauer, Halbwertszeit, Exponentialfunktionen, Eigenschaften der  $\alpha$ -Teilchen, Isotop, Nuklidkarte, Stabilitätstal, Superschwere Elemente, Wechselwirkung mit Materie, Bethe-Bloch-Formel, Vergleich mit Photonen*

### **Versuch: 2.2.1**

#### **Bestimmung der Halbwertszeit von Radon**

Mit Hilfe einer einfachen Ionisationskammer kann die Halbwertszeit von Radon, einem gasförmigen  $\alpha$ -Strahler, bestimmt werden. Das radioaktive Gas wird mit einem Blasebalg in das aktive Volumen einer Ionisationskammer, gefüllt mit Luft, eingebracht. Die hochenergetischen  $\alpha$ -Teilchen ionisieren proportional der abklingenden Aktivität die Luft. Die erzeugte Ionisationsladung wird als Funktion der Zeit gemessen. Die Abklingkurve wird graphisch dargestellt und daraus kann die mittlere Lebensdauer sowie die Halbwertszeit bestimmt werden. Die Analyse kann mit verschiedenen Methoden durchgeführt werden. Die Resultate werden mit den Daten der Nuklidkarte verglichen. (Siehe Praktikumsanleitung !)

**Stichpunkte:** *Prinzip einer Ionisationskammer, Ionisation, Eigenschaften von Radon, Umweltradioaktivität, radioaktive Zerfallsketten, ionisierende Wirkung und biologische Wirksamkeit von  $\alpha$ -Teilchen, Mathematische Grundlagen zum radioaktiven Zerfallsgesetz (Ansatz, Lösung der Differentialgleichung, graphische Darstellung (halblogarithmisch))*

### **Versuch: 2.2.2**

#### **Bestimmung der charakteristischen Zerfalls-Energien von $\alpha$ -Teilchen**

Bedingt durch den Zerfallsmechanismus weisen  $\alpha$ -Teilchen eines bestimmten radioaktiven Präparats eine für das Element charakteristische kinetische Energie auf, die es erlaubt, den zerfallenden Mutterkern auf Grund der  $\alpha$ -Energien zu identifizieren. Diese Energien können mit Hilfe eines Halbleiterdetektors mit guter Energie-Auflösung direkt gemessen und für verschiedene Präparate verglichen werden.

Die Wechselwirkung mit Materie und damit die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen kann direkt experimentell bestimmt werden. Da der Experimentaufbau zur Messung der kinetischen Energien der  $\alpha$ -Teilchen normalerweise im Vakuum erfolgen muß, kann durch Erhöhung des Gasdruckes direkt der dadurch verursachte Energieverlust bestimmt werden. In einem weiteren Versuch werden verschiedene Absorbermaterialien zwischen Detektor und Quelle positioniert.

Aus den Daten kann der prinzipielle Mechanismus der Wechselwirkung mit Materie abgeleitet werden.

**Stichpunkte:** *Prinzip eines Halbleiterdetektors, Vor- und Nachteile, ionisierende Wirkung von  $\alpha$ -Teilchen, Energieeichung, Prinzip einer Vakuumpumpe, Meßmethoden des Gasdruckes, Energieverlusttabellen*

### 3.0 Der anorganische Szintillator

#### 3.1 Szintillation

Im weiteren werden zum Nachweis von  $\gamma$ -Strahlung ausschließlich Szintillationsdetektoren eingesetzt werden. Daher sind folgende Begriffe zu erarbeiten:

- was ist ein aktiver Absorber?
- Szintillator:
  - Lumineszenz , Phosphoreszenz,
  - An- und Abregungsmechanismen
  - welche Materialien gibt es?
  - Organische/ anorganische Materialien
  - Beispiele: Plastik, NaJ(Tl), BaF<sub>2</sub>, PbWO<sub>4</sub>
- Beispiele für Anwendungen in Forschung, Technik und Medizin
- Welche Eigenschaften erwartet man von einem idealen Szintillator - welche vor allem für das TAPS-Detektorsystem?
- Worauf kommt es an, einen guten Szintillationsdetektor zu bauen? (Szintillatorqualität, Oberflächenbeschaffenheit, Geometrie, Reflektor, Lichtauslese)
- Welche Photosensoren gibt es heute? (Photodioden, Photomultiplier)

**Stichpunkte:** *Lumineszenz, Phosphoreszenz, Bändermodell eines Leiters, Halbleiters und Isolators, Kristallzucht, Photoionisation, Photomultiplier*

#### **Versuch: 3.1.1**

<b>Bestimmung der optischen Eigenschaften eines BaF<sub>2</sub>-Kristalls mit Hilfe eines UV-Spektrometers</b>
--

Nach Einführung in die Bedienung und Funktionsweise des Spektrometers wird die Selbst-Absorption von UV-Licht im Kristall gemessen. Es werden die Meßgrößen *absorbance*, *Transmission* und *Absorptionslänge* diskutiert und bestimmt. Zum Vergleich wird auch eine Probe von nicht akzeptierten Material untersucht.

Um die Möglichkeiten des Spektrometers zu zeigen, können verschiedene Materialien (z.B. Glas, Plexiglas, Plastik, CeF<sub>3</sub>, PbWO<sub>4</sub>, Sonnenbrille etc. ) auf ihre optische Transparenz untersucht werden.

**Stichpunkte:** *Transmission, Absorption, Exponentialfunktion, Monochromator*

#### 3.2 Szintillations-Detektor - Funktionsprinzip

Der Aufbau eines Szintillationsdetektors wird an Hand der verschiedenen Baukomponenten besprochen:

**Kristall - Reflektor - optische Kopplung - Photomultiplier - Spannungsteiler  
- Signalerzeugung - Signalverarbeitung**

**Versuch: 3.2.1**

**Herstellung von Plastiksintillations-Detektoren**

Um einmal selbst einen Szintillationsdetektor hergestellt zu haben, werden aus den oben diskutierten Baukomponenten mehrere einfache Plastik-Szintillationsdetektoren zusammengebaut und auf ihre Funktionsfähigkeit hin getestet.

Die zusammengebauten Module werden in Betrieb genommen und die Signale am Oszillograph untersucht. Dabei wird zuerst überprüft, ob die Detektoren lichtdicht sind und entsprechende Signale am Oszillograph zeigen. Verschiedene Eigenschaften wie Signalform, Anstiegszeit der Pulse, Abhängigkeit von der Betriebsspannung des Photosensors sowie der Begriff einer Koinzidenzmessung können qualitativ erarbeitet werden.

**Versuch: 3.2.2**

**Funktionsweise verschiedener Szintillations-Detektoren**

Das Ansprechverhalten verschiedener Szintillations-Detektoren wird mit Hilfe von Analog- und Speicher-Oszillographen betrachtet und die verschiedenen Szintillatoreigenschaften gemessen und verglichen. Hierbei wird im Detail die Funktionsweise eines Oszillographen besprochen. Die verwendeten Geräte erlauben die Untersuchung des Signalverlaufes im Zeitbereich selbst von wenigen Nanosekunden ( $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$ ). Es werden die physikalischen Grundlagen der Ablenkung von Elektronen in einem homogenen elektrischen Feld, das Prinzip der Zeitablenkung sowie das eines digitalen Oszilloskops besprochen.

**Stichpunkte:** *Oszillograph, Speicheroszillograph,*

**Versuch: 3.2.3**

**Signalform eines  $\text{BaF}_2$ -Detektors**

Mit Hilfe eines Speicheroszillographen wird die Signalform des Detektors beim Nachweis monoenergetischer  $\gamma$ -Strahlen einer  $^{137}\text{Cs}$  Quelle bestimmt. Die Meßdaten können abgespeichert und mit einfachen PC-Programmen graphisch dargestellt werden. Man deduziert die Anstiegszeit des Signals sowie die Abklingzeiten beider Szintillationskomponenten graphisch. Gleichzeitig kann durch einfaches Integrieren der relative Anteil beider Komponenten bestimmt werden.

Aus den Daten kann man einen ersten Eindruck über das zeitliche Detektorverhalten gewinnen. Die Anstiegszeit von wenigen Nanosekunden zeigt das prompte Ansprechverhalten des Fluoreszenzvorgangs. Man erhält eine erste Abschätzung, mit welcher zeitlichen Genauigkeit man das Auftreffen von radioaktiver Strahlung bestimmen kann.

Die Bedeutung der zwei Szintillationskomponenten zur Identifikation verschiedener Teilchensorten bzw. Photonen wird erläutert. Eine genauere Messung erfolgt später.

**Stichpunkte:** *Eigenschaften einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle, Pulsformanalyse von  $\text{BaF}_2$ -Signalen. Lichtgeschwindigkeit, Zeiteinheiten*

**Versuch: 3.2.4**

**Verstärkungsmechanismus eines Photomultipliers**

Ein Photomultiplier wird mit einer gepulsten Leuchtdiode als Lichtquelle zusammengebaut. Die Signalamplitude am Anodenausgang des Spannungsteilers des Photomultipliers wird in Abhängigkeit der Betriebsspannung mit einem Oszillographen bestimmt. Die Meßdaten werden graphisch dargestellt. Aus dem Ergebnis wird der Verstärkungsmechanismus abgeleitet und diskutiert. Die Linearität des Photomultipliers kann durch Abschwächung der Lichtquelle mit geeichten Graufiltern überprüft und graphisch dargestellt werden.

**Stichpunkte:** *Photomultiplier, Spannungsteiler*

### 3.3 Messungen mit Szintillations-Detektoren

Im weiteren werden verschiedene BaF<sub>2</sub>-Detektoren für grundlegende Messungen mit radioaktiven  $\gamma$ -Quellen eingesetzt. Hierbei soll an einfachen Beispielen der Einsatz der Detektoren verständlich gemacht werden. Die Detektoren sind bereits montiert und bestehen aus BaF<sub>2</sub>-Kristallen unterschiedlicher Geometrie, einem angekoppelten Photomultiplier und einem angepaßten Spannungsteiler. Die Betriebsspannungen (Größe, Polarität) sind individuell verschieden.

#### Versuch: 3.3.1

<b>Energieeichung eines Szintillationsdetektors</b>
---

Gemäß dem Prinzip eines Szintillationsdetektors ist die Anzahl der Szintillationsphotonen direkt **proportional** der im Kristall absorbierten Energie der einfallenden Strahlung. Mit Hilfe des Photosensors wird das integrale Licht in ein elektrisches Ladungs-Signal umgewandelt. Um daher ein Maß für die Lichtmenge zu erhalten, muß das Signal elektronisch integriert werden. Dies kann z.B. durch einen entsprechenden integrierenden Verstärker erfolgen. In zwei alternativen Versuchsaufbauten (Vielkanal-Analysator, PC-CAMAC Datenaufnahmesystem) wird das elektrische Signal jedes Pulses integriert und digitalisiert. Aus diesen Informationen wird ein sog. Pulshöhenspektrum, d.h. die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Ladungsintegrale erzeugt. Apparativ wird dazu ein sog. Vielkanal-Analysator sowie eine PC-Datenaufnahmesystem verwendet. Das Meßprinzip und Funktionsprinzip wird vorher besprochen.

Mit Hilfe beider Meßaufbauten werden Pulshöhenspektren für verschiedene Eichquellen aufgenommen (<sup>22</sup>Na, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs), deren Photonenenergien bekannt sind (siehe Anhang).

Aufgaben:

1. Für eine Cs-Quelle wird die typische Struktur des Pulshöhenspektrum aufgenommen und diskutiert. Zu Bestimmen sind die Position des *photopeaks* sowie die Position der *Compton-Kante*.
2. Aus den Pulshöhenspektren der beiden übrigen Quellen werden die Positionen der sichtbaren erkennbaren *photopeaks* ebenfalls bestimmt.

#### Auswertung:

- Diskussion der Absorptionsmechanismen von Photonen in Materie an Hand des gemessenen Pulshöhenspektrums für <sup>137</sup>Cs.
- Aus der Kenntnis der Photonenenergien kann eine Energiekalibration (Ansatz:  $E_g[\text{keV}] = \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \text{Kanalzahl}$ ) durchgeführt und verifiziert werden. Dies kann graphisch oder per PC-Software erstellt werden.

**Stichpunkte:** *Eigenschaften typischer Eichquellen, Photopeak, Compton-Kante, Energieeichung, Vielkanal-Analysator, ADC, CAMAC-Norm, Pulshöhen- bzw. Energiespektrum, Vergleich des Energiespektrums von Photonen und  $\alpha$ -Teilchen*

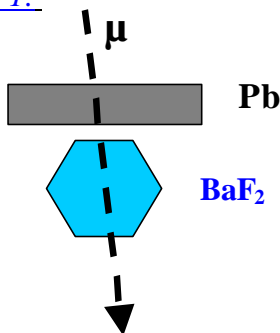
## Versuch: 3.3.2

### Nachweis von Umweltradioaktivität

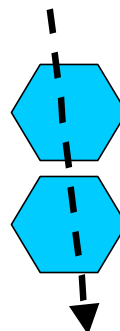
Der im obigen Versuch geeichte Photonendetektor erlaubt nun unbekannte radioaktive Strahlung zu identifizieren (z.B. Radioaktivität im Stahlbeton, Glühstrumpf, etc. ). An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß der Nachweis niederenergetischer Photonen zur Identifikation unbekannter Strahlungsquellen heute mit Halbleiterdetektoren durchgeführt wird, um eine bestmögliche Energieauflösung zu ermöglichen. Der Begriff der Energie-auflösung wird im nächsten Versuch genauer diskutiert.

Wie bereits am Oszillograph sichtbar, zeigt ein  $\text{BaF}_2$ -Detektor auch ohne externe Quelle eine hohe Pulsrate. Diese ist bedingt durch die natürliche Umweltradioaktivität aber auch durch radioaktive Verunreinigungen im Kristall selbst. Mit einer Rate von wenigen Ereignissen pro Minute, sind auch extrem hohe Signale zu beobachten, die selbst nach Abschirmung durch massive Bleiplatten immer noch sichtbar sind. Es handelt sich hierbei vorwiegend um **Myonen**, die in Wechselwirkungen kosmischer Strahlung mit Kernen der Erdatmosphäre entstehen und sog. *minimal-ionisierende Teilchen* darstellen. Durch Erweiterung des Meßbereiches und neuer Energieeichung kann die im Kristall durch Myonen deponierte Energie bestimmt werden (Aufbau 1). Aus der mittleren deponierten Energie, geeicht ich MeV, kann man den mittleren Energieverlust pro Wegstrecke,  $dE/dx$ , für minimal-ionisierenden Teilchen in  $\text{BaF}_2$  quantitativ bestimmen.

#### Aufbau 1:

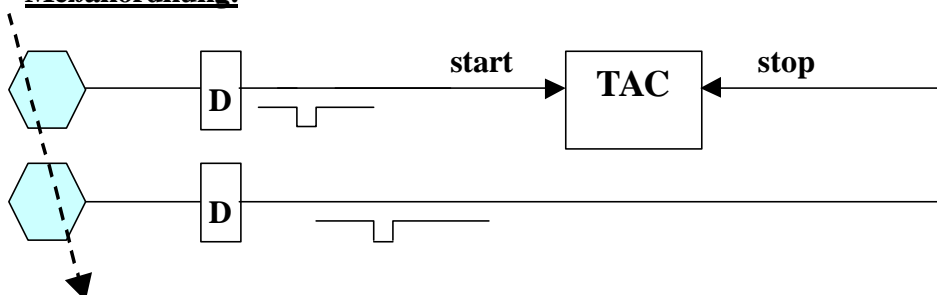


#### Aufbau 2:



Die Bedeutung einer Koinzidenzmessung kann durch den gleichzeitigen Betrieb zweier  $\text{BaF}_2$ -Detektoren veranschaulicht werden, indem man beide übereinander montiert und die Gleichzeitigkeit der Signale überprüft. Man kann elektronisch die relative Zeit zwischen beiden Detektoren bestimmen, wenn ein Myon beide Detektoren durchfliegt und darin Energie deponiert.

#### Meßanordnung:





## D : Diskriminator, TAC : Time-to-Amplitude-Converter

Aus dem Experiment kann man unter einfachen Annahmen die sogenannte Zeitauflösung eines Detektormoduls bestimmen.

**Stichpunkte:** Myonen, Relativitätstheorie, minimal-ionisierende Teilchen, Fehlerrechnung, Fehlerfortpflanzung, Diskriminator, Verzögerung von elektrischen Signalen, Signallaufzeit in koaxialen Kabeln, Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen, Energieverlust von geladenen Teilchen in Materie (Bethe-Bloch Formel)

### 3.4 Messungen mit BaF<sub>2</sub>-Detektoren unter Verwendung eines komplexen Datenaufnahmesystems

Die Durchführung komplexer kernphysikalische Experimente, vor allem an Beschleunigeranlagen bei immer höheren Projektilenergien, erfordert eine schnelle und flexible Datenaufnahme. Darunter versteht man die elektronische Verarbeitung der analogen Detektorsignale, die Ableitung logischer Signale (d.h. einer Information, daß ein Detektormodul angesprochen hat und zu welchem Zeitpunkt), die Digitalisierung der Analoginformationen und der Transfer der digitalisierten Daten auf permanente Datenträger sowie die grobe Analyse durch Anlegen sog. Spektren.

Um einen Einblick in die Thematik zu erhalten, werden einige Messungen mit Hilfe eines solchen Datenaufnahmesystems durchgeführt. Neben der modularen Elektronik (NIM, CAMAC-Module) wird eine schnelle Alpha-Workstation (UNIX-Betriebssystem) für die Datenauslese und -analyse eingesetzt. Die Details werden bei der Durchführung besprochen.

**Stichpunkte:** NIM, CAMAC, Analog-Signal, Logisches Normsignal, Begriff des Spektrums,

#### **Versuch: 3.4.1**

#### **Messung der Energieauflösung eines BaF<sub>2</sub>-Detektors**

Wie bereits in einem früheren Versuch wird für verschiedene  $\gamma$ -Eichquellen bekannter Energie das sog. Pulshöhenspektrum aufgenommen. Aus den gespeicherten und grafisch aufbereiteten Daten wird die Form des sog. *photopeaks* quantitativ bestimmt. Aus der Darstellung des Spektrums kann die sog. Halbwertsbreite (FWHM) abgelesen werden. Unter Verwendung der Software des Datenaufnahmesystems kann alternativ eine mathematische Kurve (Gaußkurve) durch eine Optimierungsroutine angepaßt werden. Man erhält somit die Lage und Breite ( $\sigma$ : Sigma) der Verteilung.

Diese Analyse wird sowohl für das Pulshöhenspektrum der <sup>137</sup>Cs- als auch <sup>22</sup>Na-Quelle durchgeführt. Die Breite des *photopeaks*, angegeben als FWHM oder  $\sigma$ , kann über eine Energieeichung des Detektors (siehe Versuch 3.3.1) in Einheiten von keV umgerechnet werden. Indem man diese Werte durch die entsprechenden Energien der Photonen (ebenfalls gegeben in keV) dividiert, erhält man die relative Auflösung  $\Delta E/E$  [%].

Diese Daten werden nun im Hinblick auf sog. Zählstatistik, d.h. statistischen Fehler diskutiert, was erlaubt, die Veränderung der relativen Auflösung mit steigender Photonenenergie zu verstehen. In diesem Zusammenhang wird generell die Bedeutung der Fehlbehandlung in der Physik behandelt.

**Stichpunkte:** *Gaußverteilung, Fehlerrechnung, absoluter, relativer Fehler, FWHM, Sigma, systematischer Fehler, statistischer Fehler von Stichproben, Einfluß der Detektorprinzipien auf die erzielbare Auflösung (Vergleich: Halbleiterzähler, Ionisationskammer, Szintillationsdetektor)*