

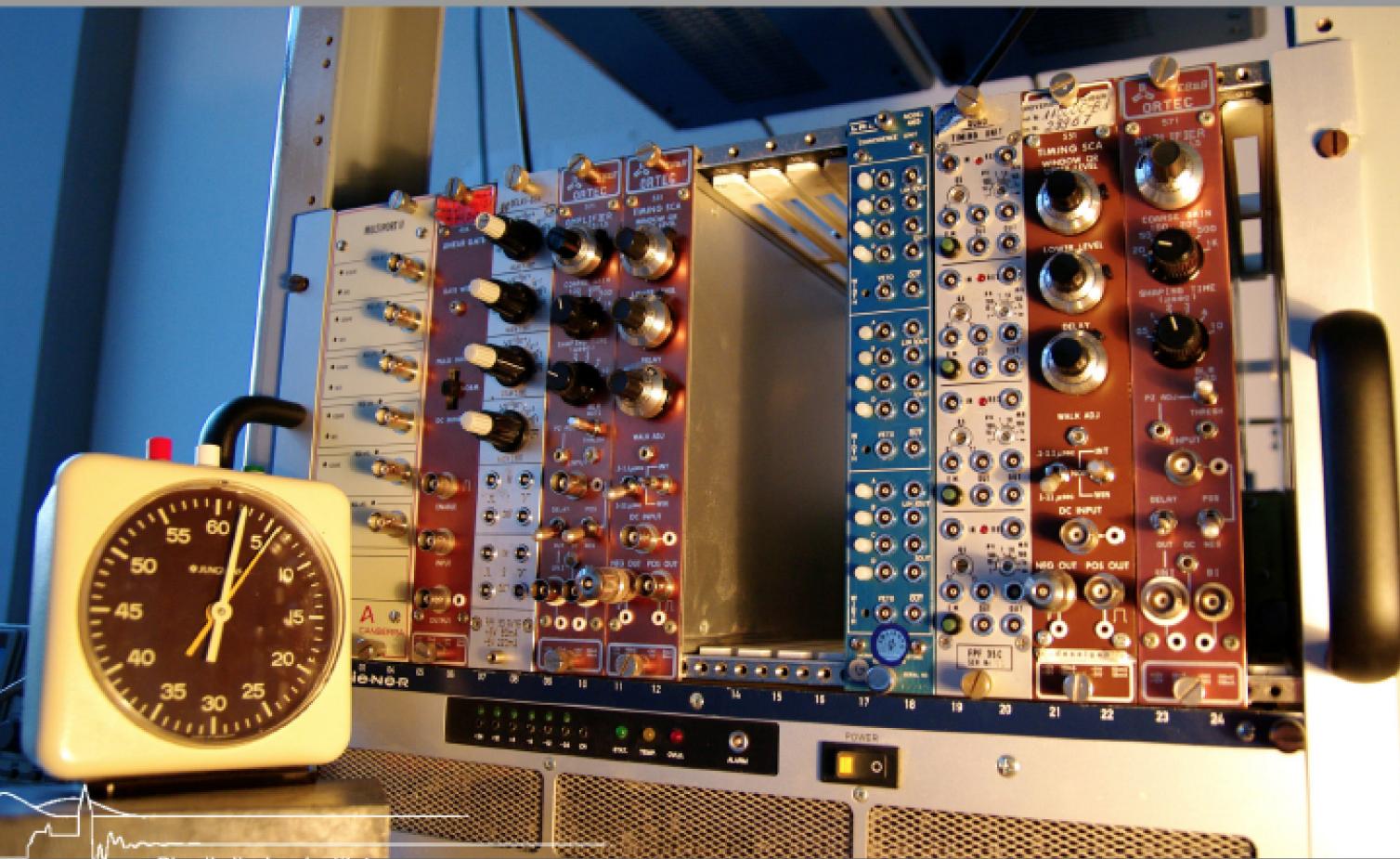


Versuchsanleitung

# Fortgeschrittenen Praktikum

## Teil I

# Szintillationszähler



## FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM I

---

TH. KLAUDOR-KLEINGROTHAUS (7/2016)

# Szintillationszähler

INSTITUT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK  
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT  
FREIBURG IM BREISGAU

19. JULI 2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Vorbereitung</b>	<b>4</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Teil 1: Vorbereitung und Energiekalibrierung . . . . .	5
3.2 Teil 2: Koinzidenzmessung . . . . .	7
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Teil 1: Vorbereitung und Energiekalibrierung . . . . .	8
4.2 Teil 2: Koinzidenzmessung . . . . .	8
<b>5 Hinweise zum Protokoll</b>	<b>8</b>
<b>6 Beschreibung einiger NIM Geräte</b>	<b>9</b>
6.1 Szintillatoren . . . . .	9
6.2 Photomultiplier . . . . .	9
6.3 NIM Standard . . . . .	10
6.4 TTL Standard . . . . .	11
6.5 Verstärker . . . . .	12
6.6 Timing Single Channel Analyser . . . . .	13
6.7 Multichannel Analyser . . . . .	13
6.8 Gate Generator . . . . .	14
6.9 Timing Unit . . . . .	14
6.10 Koinzidenzeinheit . . . . .	14
6.11 Oszilloskop . . . . .	14
<b>7 Datenblätter</b>	<b>18</b>
7.1 Amplifier . . . . .	18
7.2 Single Channel Analyser . . . . .	20
7.3 Multiport . . . . .	26
7.4 Linear Gate . . . . .	29
7.5 Koinzidenzeinheit . . . . .	31
<b>8 Elemente</b>	<b>33</b>
8.1 Thorium . . . . .	33
8.2 Europium . . . . .	37
8.3 Cobalt . . . . .	44
8.4 Natrium . . . . .	48

Diese Anleitung wird ab SoSe 2016 die bisherige Anleitung ersetzen. Jegliche konstruktive Kritik ist willkommen. Der Versuch selbst, dessen Anleitung und deren Durchführung, basiert auf der Zulassungsarbeit von Tobijas Kotyk [?] und dessen Versuchsanleitung. Im Rahmen dieses Versuchs kann diese Zulassungsarbeit hinzugezogen werden.



**Abbildung 1:** NIM Module des Versuchs im Crate. V.l.n.r: Multiport (Multi Channel Analyser), Amplifier, Timing Single Channel Analyser (TSCA), Fast Amplifier and CFD, HEX Zähler, Gate Generator, Koinzidenzeinheit, Timing Unit, TSCA, Amplifier.

## 1 Einleitung

In diesem Versuch soll neben der Analyse der Zerfallsspektren einiger Isotope und der Winkelabhängigkeit der Paarvernichtung das Verständnis für Analogelektronik, Szintillatoren, und NIM Schaltungsstandards vertieft werden.

Im ersten Versuchsteil werden Sie mittels bekannter Quellen und deren Spektren den elektronischen Aufbau kalibrieren und eine Energieeichung durchführen. Dazu werden Ihnen die Isotope  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$  und  $^{228}\text{Th}$  zur Verfügung gestellt. Mit den ersten drei Isotopen werden Sie die Energieeichung durchführen und mit den erhaltenen Ergebnissen das Thoriumspektrum untersuchen. Die Ergebnisse sollen dann mit den Literaturangaben verglichen und mögliche Abweichungen diskutiert werden.

Im zweiten Versuchsteil werden Sie eine Koinzidenzmethode, d.h. den Nachweis des *gleichzeitigen* Auftretens mehrerer Photonen oder Teilchen bei einem atomaren bzw. nuklearen Prozess, verwenden um die Winkelabhängigkeit der Photonen aus der Paarvernichtung zu untersuchen. Zusätzlich zu dem NaI Szintillator werden Sie noch einen organischen Szintillator verwenden, der sich auf einem drehbaren Arm befindet (siehe Abb. 4). Beachten Sie dabei die jeweiligen Eigenschaften beider Szintillatoren.

## 2 Vorbereitung

Bitte bereiten Sie sich auf den Versuch vor, indem sie sich mit der Schaltungstechnik und den Eigenschaften der Isotope vertraut machen. In Kapitel 6 finden Sie alle notwendigen Informationen, die Sie für den Versuch brauchen. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel 7, den Datenblättern der Hersteller.

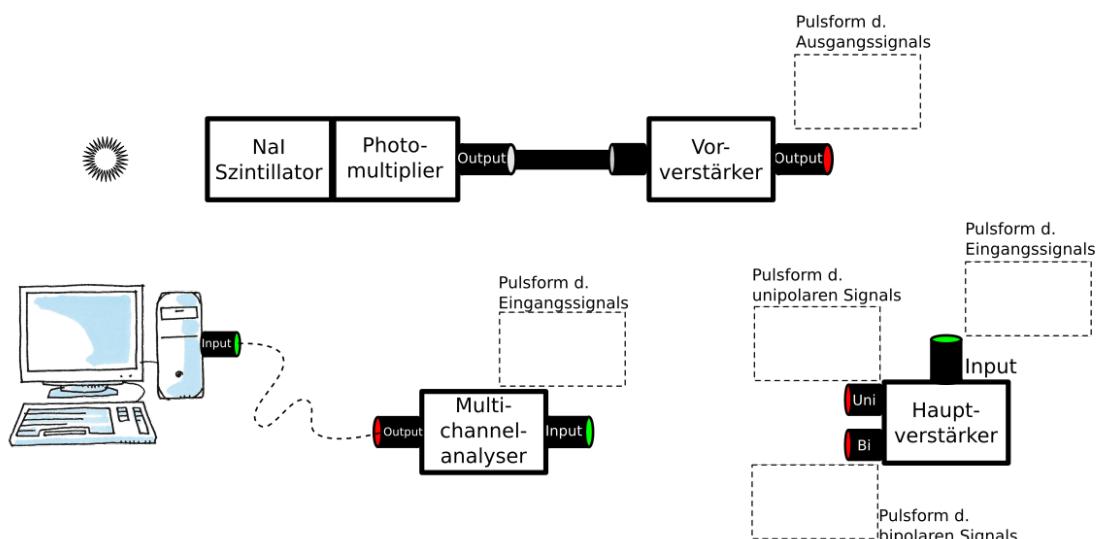
Da Sie in dem Versuch mit unterschiedlichen NIM-Modulen arbeiten werden (siehe Abb. 1), sollten Sie sich schon vor dem Versuch mit den grundlegenden Funktionen und Eigenschaften dieser vertraut machen. Als Vorbereitung bearbeiten Sie bitte die Abbildungen 2 und 3. Abbildung 2 zeigt ein Blockschaltbild des ersten Versuchsteils und Abbildung 3 des zweiten Versuchsteils. Zu jedem Modul sind Ein- und Ausgänge des Geräts

eingezzeichnet. Mit den Informationen aus Kapitel 6 können Sie die Signale, die die Ein- und Ausgänge der jeweiligen Geräte verarbeiten, in die vorgesehenen Stellen im Blockschaltbild einzeichnen. Machen Sie sich klar, warum an manchen Stellen Schaltungssignale notwendig sind und an manchen nicht.

Nachdem Sie alle Signale eingezeichnet haben, können Sie die Schaltungen auf dem Blockschaltbild entsprechend dem Versuchsteil verbinden. Bei der Koinzidenzmessung müssen Signale verzögert werden. Welche und warum (siehe Kapitel 6.1)?

**Zusätzlich** zu Ihrer Vorbereitung hinsichtlich der Geräte bereiten Sie sich bitte auch auf folgende Themen vor. In diesem Versuch werden die Isotope  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  und  $^{228}\text{Th}$  verwendet. Wie sehen die Termschemata dieser Isotope aus und welches sind die charakteristischen Linien? Die entsprechenden Niveauschemata finden Sie in der Staatsexamensarbeit oder in Kapitel 8. Welche Zerfälle sind am Wahrscheinlichsten und welche Peaks erwarten Sie im Spektrum zu erkennen? Welche Rolle haben  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  Strahlung und deren Wechselwirkungsmechanismen in diesem Versuch?

Was bedeutet der Begriff Koinzidenz in diesem Versuch? In diesem Versuch wird die Paarvernichtung mittels Koinzidenz untersucht. Wofür eignen sich Koinzidenzmessungen in der Physik noch?



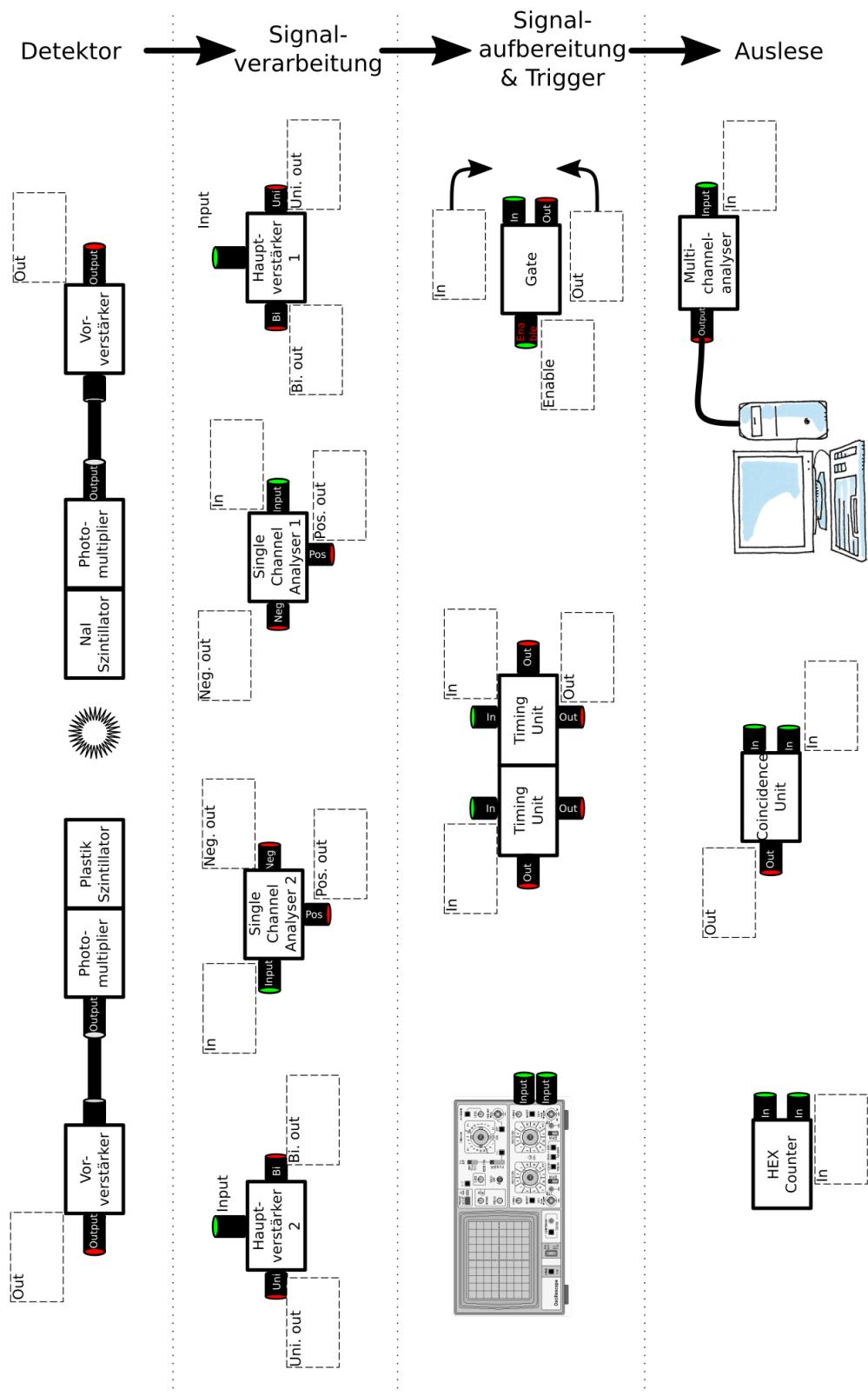
**Abbildung 2:** Blockschaltbild des ersten Versuchsteils. Die weißen Boxen sollen mit der jeweiligen Pulsform ausgefüllt werden. Verbinden Sie die Geräte entsprechend um damit die Messungen für den ersten Versuchsteil machen zu können. Besprechen Sie Ihren Plan mit dem Betreuer.

### 3 Durchführung

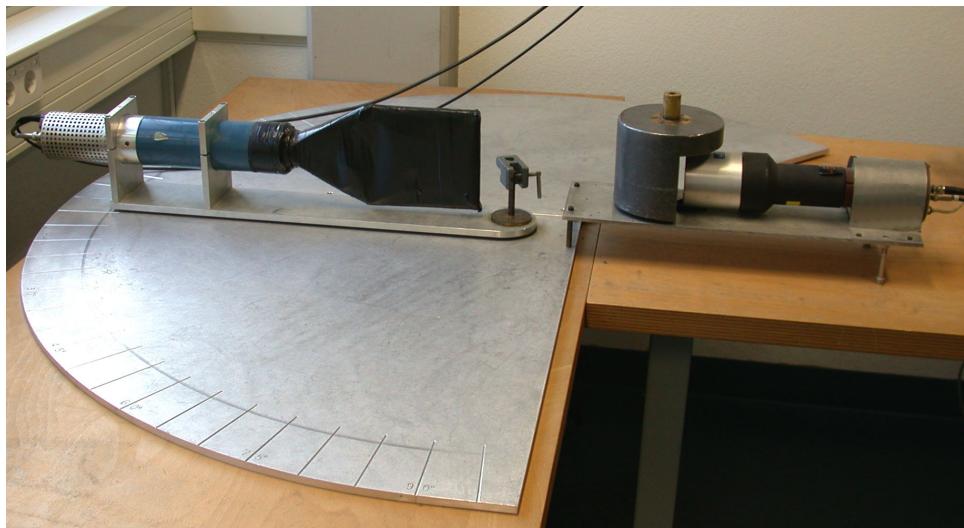
Achten Sie bitte darauf, dass Sie alle notwendigen Messungen durchführen um die Fragen in Kapitel 4 zu beantworten.

#### 3.1 Teil 1: Vorbereitung und Energiekalibrierung

1. Betrachten Sie die Signale der Ausgänge der jeweiligen Geräte auf dem Oszilloskop. Vergleichen und verifizieren Sie diese mit den erwarteten Signale aus dem Blockschaltbild. Um Frustration bei der Durchführung zu vermeiden sollte der Abschnitt (siehe Abschnitt 6.11 — Signalabschluss) unbedingt beachtet werden.
  2. Variieren Sie die Einstellungen der Geräte und beobachten Sie deren Effekt auf dem Oszilloskop.
- ⚠ Positionieren Sie eine geeignete Probe an geeigneter Stelle.



**Abbildung 3:** Blockschaltbild des zweiten Versuchsteils. Die weißen Boxen sollen mit der jeweiligen Pulsform ausgefüllt werden. Verbinden Sie die Geräte entsprechend um damit die Messungen für den zweiten Versuchsteil machen zu können. Besprechen Sie Ihren Plan mit dem Betreuer.



**Abbildung 4:** Bild des Versuchsaufbaus ohne Abschirmung [?].

3. Stellen Sie die Verstärkung am Verstärker so ein, das das Spektrum vom MCA komplett ausgereizt werden. Da die Isotope in verschiedenen Energien Strahlung emittieren, ist die Einstellung so zu wählen, das sie für alle Isotope beibehalten werden kann. Dies ist auch notwendig um eine Kalibration des Versuchs durchzuführen. Wie sie Sie den MCA am PC auslesen, ist in Abschnitt 6.7 beschrieben.
4. Messen Sie die Spektren der Isotope Europium, Cobalt und Natrium mit einer Messdauer von jeweils 30 min.
5. Messen Sie das Spektrum von Thorium über Nacht.
6. Führen Sie eine bis zu dreistündige Untergrundmessung durch.

⚠ Beachten Sie die Kommentare zu dem Versuchsteil in dem Kapitel 4.

### 3.2 Teil 2: Koinzidenzmessung

1. Bauen Sie die Schaltung entsprechend Abbildung 3 auf.
  2. Diskriminieren Sie den NaI Szintillator auf die entsprechende Energie des zu untersuchenden Prozesses. Positionieren Sie dazu die Probe an einer sinnvollen Stelle, so dass eine hohe Ereignisrate erreicht wird.
  3. Überprüfen Sie die Verstärkung des Plastiksintillators (u.a. am MCA) und korrigieren Sie diese. Plazieren Sie die Probe entsprechend. Warum kann bei diesem nicht auf eine bestimmte Energie diskriminiert werden?
- ⚠ Plazieren Sie die Probe sinnvoll für die Koinzidenzmessung.
4. Benutzen Sie die weiteren Ausgänge der Timing Unit um die Signale auf dem Oszilloskop zu betrachten.
  5. Benutzen Sie einen geeigneten Betriebsmodus des Oszilloskops (Abschnitt 6.11) um die Häufigkeit des Auftretens der Signale zu beobachten.
  6. Optimieren Sie die Verzögerung zwischen den beiden Signalen der Szintillatoren um eine Koinzidenz zu erreichen. Zusätzlich zur visuellen Information des Oszilloskops, soll der HEX Zähler benutzt werden um in einer Messreihe eine optimale Verzögerung einzustellen.
  7. Überlegen Sie sich geeignete Messzeiten und geeignete Winkel, in denen Sie die Winkelabhängigkeit der Paarvernichtung vermessen wollen.
- ⚠ Beachten Sie die Kommentare zu diesem Versuchsteil in Kapitel 4.

## 4 Auswertung

### 4.1 Teil 1: Vorbereitung und Energiekalibrierung

1. Fertigen Sie ein Schaltbild an. Begründen und beschreiben Sie Ihre Schaltung.
2. Beschreiben und diskutieren Sie die beobachteten Signale (Zeitl. Dauer/Versatz, Pulshöhe, ...). Fügen Sie Skizzen oder Screenshots der Signale am Oszilloskop an.
  - Welchen Effekt hat die Änderung der Verstärkung/ der Shaping Time auf das Signal?
  - Was für einen Einfluss hat das *lower* und *upper level* des SCA auf das Signal?
  - Welche Veränderung bewirkt das Delay?
  - Welche zeitliche Verzögerung liegt zwischen dem Eingang und den Ausgängen des SCA?
3. Begründen Sie Ihre Wahl der Einstellungen des MCA-Programms.
4. Werten Sie die Spektren unter Berücksichtigung der erwarteten Energien aus. Achten Sie auf eine korrekte Fehlerrechnung.
5. Führen Sie eine Energieeichung für den Aufbau aus und wenden Sie diese auf das Spektrum von Th an.
6. Diskutieren Sie, welchen Einfluss eine Ausbeutekurve eines Szintillators auf die Ergebnisse hat (Details dazu finden Sie in Kapitel 6). Überlegen Sie weitere mögliche Fehlerquellen und Nicht-Linearitäten.

### 4.2 Teil 2: Koinzidenzmessung

1. Fertigen Sie ein Schaltbild an. Begründen und beschreiben Sie Ihre Schaltung.
2. Welche Polarität hat das Signal des Gates?  
Welcher zeitl. Bereich ist mit der Schraube am Gate einstellbar?
3. Begründen Sie Ihre Einstellungen an der Timing Unit, Ihre Auswahl der Winkel und der Messdauer.
4. Um wieviel  $\mu\text{s}$  muss das Signal des Plastiksintillators verzögert werden um eine Koinzidenz zu erreichen?
5. Werten Sie Ihre Messung aus und achten Sie auf korrekte Fehlerrechnung.
6. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

## 5 Hinweise zum Protokoll

- Fassen Sie die Theorie kurz zusammen. Gehen Sie dabei auf die für diesen Versuch relevanten physikalischen Prozesse ein. Beschreiben Sie die Funktionsweise von Szintillatoren und deren unterschiedliche Eigenschaften.
- Achten Sie auf die Vollständigkeit der Graphen und deren Lesbarkeit. Auch die Fitparameter sollten lesbar sein. Alternativ können diese auch in einer zusätzlichen Tabelle dargestellt werden.
- Die Fehlerrechnung sollte aus Ihrem Protokoll klar ersichtlich und nachvollziehbar sein. Diskutieren Sie Ihre Fehler.
- Hinweise zu  $\text{\LaTeX}$ :  
Verwenden Sie das Paket *siunitx* um eine korrekte Darstellung der Einheiten zu erreichen.  
Verwenden Sie das Paket *isotope* um eine korrekte Darstellung von Isotopen zu erreichen.  
Verwenden Sie *bibtex* zur Erstellung eines Literaturverzeichnisses.  
Benutzen Sie Shorttitles um das Abbildungs- und Tabellenverzeichnis zu formatieren: `caption[shorttitle]longtitle`

## 6 Beschreibung einiger NIM Geräte

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise der meisten Geräte, die in diesem Versuch verwendet werden, kurz umschrieben. Zur Vollständigkeit ist es empfohlen weiterführende Literatur zu verwenden.

### 6.1 Szintillatoren

Ionisierende Strahlung interagiert durch Anregung der Atome und Moleküle mit einem Szintillator und löst damit Photonen aus. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen organischen und anorganischen Szintillatoren.

**Organische Szintillatoren,** also aus Materialien mit Kohlenstoffverbindungen, zeichnen sich durch eine kurze Abklingzeit (wenige ns) aus und eignen sich daher für Zeitmessungen oder als Start- oder Vetozählern für komplexe Detektorsysteme. Durch ihren hohen Wasserstoffgehalt lassen sie sich auch zum Nachweis von Neutronen einsetzen.

**Anorganische Szintillatoren:** Anorganische Szintillatoren haben durch ihre höhere Ordnungszahl und Dichte eine höhere Nachweiswahrscheinlichkeit für elektromagnetische Strahlung. Oft besitzen sie auch eine deutlich höhere Lichtausbeute und besitzen somit eine bessere Energieauflösung.

#### 6.1.1 Lichtausbeute

(nach Leo [?] : ) Mit der Lichtausbeute eines Szintillators ist die Effizienz der Konversion von der, durch Ionisation deponierten Energie in Photonen gemeint. Dies ist eine besonderes wichtige Kennzahl, da es sowohl die Effizienz als auch die Energieauflösung des Szintillators bestimmt. Generell ist die Lichtausbeute unterschiedlich für unterschiedliche Teilchen mit der gleichen Energie. Sogar für einen gegebenen Teilchentyp ist die Lichtausbeute nicht immer linear mit der Energie. Im Allgemeinen sinkt die Effizienz für schwerere Teilchen. Es ist zu bedenken, dass die Effizienz des Szintillationsdetektors, sich sowohl aus der Effizienz des Szintillators als auch des Photomultipliers ergibt, das diese miteinander gekoppelt sind. Die typische Effizienz eines Photomultipliers ist ca. 30%.

**Linearität** Der lineare Zusammenhang zwischen einfallender Energie und den erzeugten Photonen ist für viele Anwendungen eine gültige Annahme. In Wirklichkeit ist die Reaktion des Szintillators eine komplexe Funktion, die nicht nur energieabhängig ist, sondern auch von Teilchentyp und dessen Ionisation abhängt. In organischen Materialien werden geringe Nicht-Linearitäten bereits bei Elektronen bei einer Energie unterhalb von 125 keV beobachtet. Für schwerere Teilchen ist die Abweichung größer, besonders bei niedrigen Energien. Zum Vergleich ist die Lichtausbeute für verschiedene Teilchen und Energien in Abbildung 6 gezeigt. Das erste semi-empirische Modell für dieses Verhalten wurde von Birks entwickelt und kann unter dem Begriff *Birks'sches Gesetz* nachgeschlagen werden.

### 6.2 Photomultiplier

(Aus Demtröder [?, S. 95] : ) Der Zeitverlauf des Multiplerausgangspulses lässt sich wie folgt abschätzen: Die Anregungszeit der Szintillatoratome ist gleich der Bremszeit  $T \approx 10^{-10}$  s der einfallenden Teilchen. Sie ist kurz gegen die Lebensdauer der angeregten Atome, welche im Bereich  $10^{-5}$  s bis  $10^{-9}$  s liegt. Die organischen Szintillatoren (z. B. Polystyren) haben wesentlich kürzere Abklingzeiten als die aktivierte anorganischen Kristalle. Die Lichtemission folgt daher einem Zeitverlauf

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

Der Photomultiplier gibt selbst bei einem unendlich kurzen Lichtpuls einen Ausgangspuls, dessen Anstiegszeit durch die Laufzeitvariation der Photoelektronen im Multiplierr bedingt ist und je nach Multipliertyp zwischen 0,3 ns und 20 ns variiert. Die Anstiegszeit des Ausgangspulses ist dann durch eine Faltung des Zeitprofils

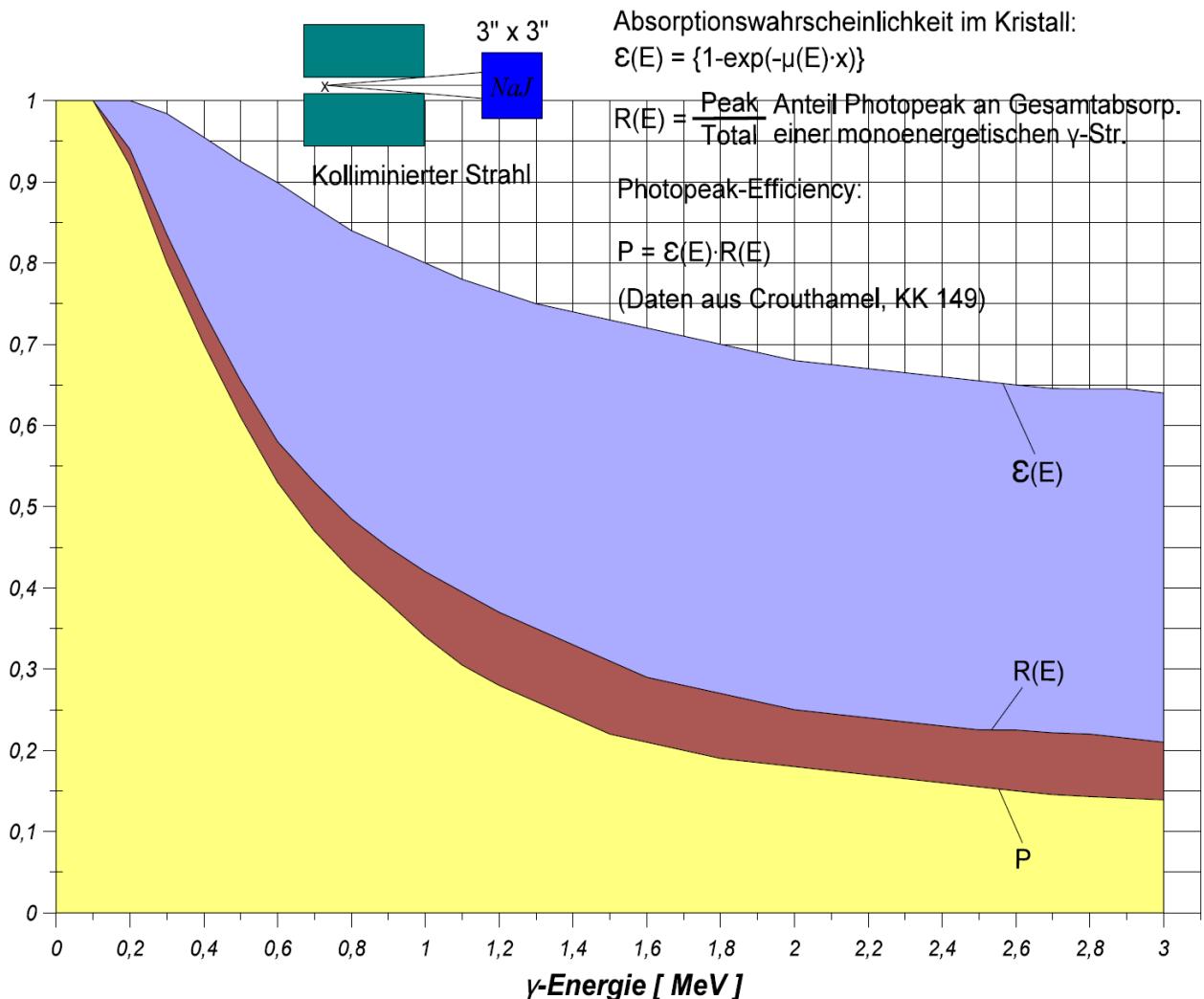


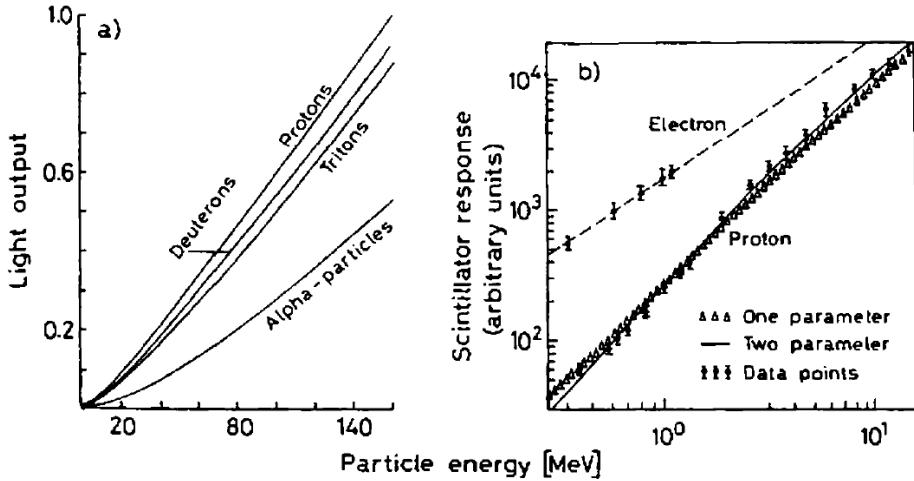
Abbildung 5: Absorptionswahrscheinlichkeit im Szintillator

des Lichtpulses und des Multipliers festgelegt. Die Abklingzeit des Ausgangspulses ist wieder durch eine Faltung von Abklingkurve der Lichtemission und Zeitkonstante  $\tau_a = R \cdot C_a$  des Verstärkerausganges bestimmt und kann in weiten Grenzen variiert werden. Bei statistischem Teilcheneinfall ist die maximale Zählrate  $R$ , die man bei einer Pulsbreite  $\Delta T$  noch ohne Überlapp der Pulse verarbeiten kann, durch  $R = 1/(3\Delta T)$  begrenzt.

### 6.3 NIM Standard

(Aus Leo [?, S. 249]) NIM (Nuclear Instrument Module) wurde als erster (und wahrscheinlich einfachster) Standard für Elektronik im Bereich Kern- und Hochenergiephysik entwickelt. Durch die Einführung standardisierter Module gewann man mehr Flexibilität, da Module einfach ausgetauscht werden konnten und auch in anderen Experimenten verwendet werden können. Bei diesen Modulen handelt es sich häufig um Amplifier (Abschnitt 6.5), Diskriminatoren (Abschnitt 6.6) oder andere signalverarbeitende Geräte.

NIM Module können sowohl analoge als auch digitale Instrumente sein. Bei analogen Signalen trägt die Amplitude oder die Form des Puls die Information. Ein digitales oder logisches Signal hat eine feste Pulsform und zwei mögliche Zustände: *ja* [1] oder *nein*[0]. Obwohl der NIM Standard an sich keine feste Vorgaben für logische Schaltungen hat, haben sich im Laufe der Zeit zwei Standards durchgesetzt: *slow-positive* und *fast-negative*.



**Fig. 7.8a, b.** Response of NE 102 plastic scintillator to different particles ((a) from Gooding and Pugh [7.6]; (b) from Craun and Smith [7.7])

**Abbildung 6:** Lichtausbeute eines NE-102 Szintillators [?].

**Slow positive** beschreibt ein positives Signal mit einer relativ langen Anstiegszeit von mehreren hundert Nanosekunden. In Tabelle 1 sind die logischen Zustände und deren Spannungssignale zusammengefasst. Der Widerstand über den die Spannung abfällt ist definitionsgemäß  $1000\Omega$ .

	Ausgangssignal	Gefordertes Eingangssignal
Logische 1	4 V bis 12 V	3 V bis 12 V
Logische 0	1 V bis -2 V	1,5 V bis -2 V

**Tabelle 1:** Slow positive NIM Logik. Eingangsimpedanz  $\geq 1000\Omega$ . Impedanz der Quelle  $\leq 10\Omega$

**Fast negative** beschreibt extrem schnelle Signale mit einer Anstiegszeit im Bereich von 1 ns. Diese Signale werden bevorzugt in Experimenten mit Plastikszenillatoren verwendet, da hier eine hohe Zählrate und ein schnelles Timing gefordert ist. Die logischen Level sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Im Gegensatz zu den Spannungsbasierten slow positive Signalen ist hier der Strom von Bedeutung. Die entsprechenden Spannungsniveaus sind 0 V für die logische 0 und -0,8 V für die 1.

Im Gegensatz zu den slow positive Signalen können die schnellen negativen NIM Signale problemlos über lange Kabel weitergeleitet werden.

	Ausgangssignal	Gefordertes Eingangssignal
Logische 1	-14 mA bis -18 mA	-12 mA bis -36 mA
Logische 0	-1 mA bis 1 mA	-4 mA bis 20 mA

**Tabelle 2:** Fast negative NIM Logik. Strom bei  $50\Omega$ . Weder Amplitude noch Signalbreite sind vorgegeben.

## 6.4 TTL Standard

Zusätzlich zu der NIM Logik haben sich auch weitere Logikfamilien entwickelt. Neben der ECL (emitter-coupled logic) (weiteres siehe [?]) ist die TTL (Transistor-Transistor Logic) weitverbreitet. Die TTL Logik kann man sehr häufig auch in den NIM Modulen finden. Die logischen Spannungsniveaus sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

	TTL	ECL
Logische 1	2 V bis 5 V	-1,75 V
Logische 0	0 V bis 0,8 V	-0,90 V

**Tabelle 3:** Niveaus der TTL und ECL Logik.

## 6.5 Verstärker

### 6.5.1 Vorverstärker

Vorverstärker werden verwendet um die schwachen Signale des Detektors zu verstärken. Da die Signale des Detektors so schwach sind, befindet sich ein Vorverstärker meist in direkter Nähe zum Detektor, womit auch die Kabellänge minimal ist. Einflüsse von elektrischen Streufeldern oder Kabelkapazitäten werden so minimiert und das Signal zu Rausch Verhältnis verbessert. Weitere Details findet man in [?, S.269]. Die Pulsform des Ausgangssignales eines Vorverstärkers kann als ein exponentielles Signal mit einem lange abfallenden Ende ( $\tau \approx \mu\text{s} - 100\mu\text{s}$ ) angesehen werden.

### 6.5.2 Hauptverstärker

Ein Hauptverstärker hat zwei Aufgaben: Einerseits soll er das Signal vom Vorverstärker weiter verstärken und andererseits soll die Pulsform für die weitere Verarbeitung angepasst werden. Ist man an der Zeitinformation interessiert, muss der Verstärker eine schnelle Antwort liefern. Steckt hingegen die Information des Detektors in der Höhe des Pulses ist eine strikte lineare Abhängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsamplitude vorteilhaft. Eine der wichtigsten Eigenschaften eines Hauptverstärkers in der Spektroskopie ist die Modifizierung der Pulsform (pulse shaping).

**Pulse Shaping** Eine Möglichkeit des Shapings ist die Verwendung von CR-RC Schaltkreisen. Der Puls wird bei niedrigen (Differentiation) und hohen (Integration) Frequenzen gefiltert. Dies führt zu einer Verbesserung des Signal zu Rausch Verhältnisses. Weiteres in [?, S. 272 ff.]. Beachten Sie für diesen Versuch das Datenblatt in Abschnitt 7.1.

**Pile up** Die Pulsform des Vorverstärkers kann als ein exponentielles Signal mit einem lange abfallenden Ende angesehen werden.

☞ Wie lang ist dieses abfallende Ende?

Wodurch ist die Zeitkonstante maßgeblich vorgegeben?

Würde ein zweites Signal innerhalb der Zeit des abfallenden Signals registriert, würde die Signalhöhe addiert werden. Dies würde zu einem falschen Ergebniss bei der Bestimmung der Energie führen. Dieser Effekt wird Pile up genannt. Man kann diesen Effekt umgehen, indem man die Zeitkonstante verkleinert oder indem man durch Shaping das abfallende Ende des Pulses verkürzt.

**Signal zu Rausch Verhältnis** Für ein gegebenes Rauschspektrum gibt es normalerweise eine optimale Pulsform bei der das Signal geringstmöglich von dem Rauschen beeinflusst wird. Pulse mit einem lang abfallenden Ende sind typischerweise nicht ideal. Stattdessen haben Gaußförmige, Semi-Gaußförmige oder dreieckige Pulse deutliche Vorteile.

Der Verstärker hat zwei Einstellmöglichkeiten für die Verstärkung. Einerseits zur genauen Justierung: "Gain", und andererseits eine Grobverstärkung: "Coarse Gain".

**Zum Gerät im Versuch** Ein Hauptverstärker hat typischerweise zwei Anschlüsse: einen Eingang und einen Ausgang. Bei dem Eingangssignal handelt es sich um das analoge Signal des Vorverstärkers. Als Ausgangssignal wird ein analoges semi-gaussförmiges Signal erzeugt, das mit der Shaping time korreliert = unipolar. Durch Ableitung des unipolaren Signals erhält man das bipolare Signal. Bei beiden handelt es sich nicht um logische Signale.

☞ Wieso ist dieses in der Elektronik interessant?

Wie unterscheidet es sich von dem unipolaren?

## 6.6 Timing Single Channel Analyser

Ein Einkanal-Analysator (auch Single Channel Analyser (SCA) oder auch Differentialdiskriminato) sortiert die analogen Eingangssignale entsprechend ihrer Amplitude. Durch Einstellen einer oberen und unteren Grenze werden Signale, die darunter bzw. darüber, sind blockiert. Nur Signale, deren Höhe genau in den eingestellten Bereich fällt, werden vom SCA weiterverarbeitet. Dabei gibt es drei Modi: Normal, Window und Integral.

- **Normal:** Die obere und die untere Schwelle sind unabhängig voneinander im Bereich von 0 V bis 10 V einstellbar.
- **Window:** Es wird eine fixe Breite zwischen unterer und oberer Schwelle eingestellt. Anschließend wird nur noch die untere Schwelle bewegt, wodurch sich die obere Schwelle automatisch mit verschiebt. Das *lower level* setzt die Grundlinie und mit dem *upper level* wird die Breite des Fensters eingestellt.
- **Integral:** Das *upper level* wird abgeschaltet und das *lower level* gibt die untere Schwelle vor.

Beachten Sie das Datenblatt in Abschnitt 7.2.

### 6.6.1 In Kürze

Der SCA in diesem Versuch hat drei Anschlüsse. Der Eingang verarbeitet analoge Signale und wandelt diese in logische Schaltsignale um. Einerseits erhält man ein negatives Peak Signal und andererseits ein positives Rechtecksignal mit einer festen Zeitdauer.

☞ Betrachten Sie beide Signale am Oszilloskop und halten Sie deren Unterschiede im Protokoll fest.

## 6.7 Multichannel Analyser

(Nach [?, S.283]:) Multichannel Analyser (MCA) sortieren die ankommenden Pulse entsprechend ihrer Pulshöhe und zählen deren Häufigkeit, speichern diese und lassen sich mit dem PC auslesen. Mittels eines einbauten Analog-Digital Kovers (ADC) werden die ankommenden Pulse digitalisiert. Die Gesamtanzahl der Kanäle in der Spannungsbereich des MCA abgebildet wird, wird als *conversion gain* – Konvertierungsverstärkung – bezeichnet. Dieser conversion gain muss in der Software richtig eingestellt werden.

Zusätzlich zu dem ADC, ist der MCA mit einem Discriminator ausgestattet, welcher ebenfalls am PC eingestellt werden kann.

Beachten Sie das Datenblatt in Abschnitt 7.3.

### 6.7.1 Auslese mit der Software

Mit der Software Gamma Aquisition & Analysis wird der MCA ausgelesen.

Als Datenquelle muss unter File → Open Datasource der Detektor MP2\_MCA1 ausgewählt werden. Die Software bietet verschiedene Einstellmöglichkeiten von denen einige hier beschrieben werden. Der kann den Messbereich von 1 V bis 10 V in bis zu ~ 16000 Bins zerlegen. Je mehr Bins eingestellt werden, desto höher ist die Energieauflösung. Im Gegenzug bedeutet, dies aber auch, dass die Statistik pro Kanal sinkt, wodurch eine längere Messzeit gewählt werden muss. Die Anzahl von Bins muss je nach Anwendung angepasst werden (MCA → Adjust → Conv. gain).

⚠️ Da in diesem Versuch eine Energieeichung und Bestimmung von Spektrallinien von Thorium vorgesehen ist, sollte nach einer optimalen Wahl zu Beginn des Versuchs die Anzahl von Bins danach nicht mehr verändert werden.

Wird die Zerlegung des Bereichs in Bins verändert, so muss auch der Bereich der Darstellung des Spektrums angepasst werden (MCA → Aqcuire Setup → Input Size).

Um den Bereich der Bins, also die 1 V bis 10 V voll auszureißen kann die Verstärkung im MCA selber eingestellt werden. Dieses sollte auch in diesem Versuch gemacht werden. Die Dateien sollten im .TKA Dateien und als .CAT gespeichert werden. Bei den TKA Dateien handelt es sich um normale Textdateien in denen in jeder Zeile der entsprechende Wert des jeweiligen Bins steht. Dabei ist zu beachten, dass in den ersten beiden Zeilen die Gesamtanzahl der Ereignisse in der Messzeit (mit und ohne Totzeit) angegeben werden.

## 6.8 Gate Generator

Liegt an einem Gate Generator ein *enable* Signal an, öffnet das sich das Gate für eine fest eingestellte Zeitdauer. Innerhalb dieser Zeitdauer wird das Signal am *Eingang* des Generators direkt an den *Ausgang* weitergeleitet. Die Dauer des Gates kann mittels eines Schlitzschaubenziehers eingestellt werden. Die tatsächliche Dauer des Gates kann **nur** am Oszilloskop bestimmt werden. Dazu ist kein *Eingangssignal* notwendig, es reicht ein *enable* Signal (welche Signale akzeptiert werden, geht aus dem Aufbau hervor) und ein Kabel vom *Ausgang* zum Oszilloskop. Beachten Sie das Datenblatt in Abschnitt 7.4. Der Signaleingang muss aber später im Experiment verwendet werden.

## 6.9 Timing Unit

Die Timing Unit verarbeitet negative logische Signale und erzeugt ein logisches rechteckiges Ausgangssignal bzw. dessen invertiertes Signal. Die Breite dieses Rechtecksignals kann mit der Einstellschraube *width* eingestellt werden. Dazu ist ein Schlitzschaubenzieher notwendig. Die Breite des Ausgangspulses muss mit dem Oszilloskop bestimmt werden. Als grober Richtwert für diesen Versuch kann eine Breite von  $1\mu s$  gewählt werden. Die Auswahl Ihres Wertes ist in der Auswertung zu begründen.

## 6.10 Koinzidenzeinheit

(Nach [?, Kap. 14.17]:) Die Koinzidenzeinheit überprüft ob zwei oder mehrere logische Signale koinzident in der Zeit sind und generiert ein entsprechendes logisches Signal. Eine mögliche Methode zur Bestimmung der Koinzidenz ist die Addition beider Signale. Übersteigt das addierte Signal ein bestimmtes Level wird es als eine Koinzidenz registriert. Hierbei ist zu beachten, das koinzident bedeutet, das die Pulse überlappen. Diese Zeitdauer wird als *resolving time* bezeichnet und ist abhängig von der Breite der Eingangssignale und der minimalen Überlappung, die von der Elektronik gefordert wird. Man kann die Operation der Koinzidenzeinheit auch als ein logisches AND auffassen. Weiteres kann im Datenblatt (Abschnitt 7.5) nachgelesen werden.

### 6.10.1 In Kürze

Am Eingang einer Koinzidenzeinheit muss ein negatives logisches Signal anliegen. Sobald die entsprechenden Signale anliegen, die eine Koinzidenz bedeuten, werden 4 Ausgangssignale erzeugt:

1.+2.: -32 mA preset Signal

3.: -16 mA preset Signal

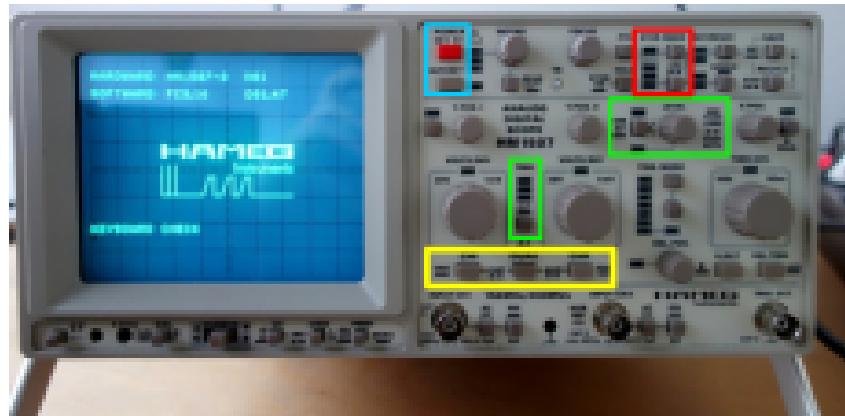
4.+5.: -32 mA überlappende Signal

Die Breite der Preset Signale lassen sich in einem Bereich von 5 ns bis 500 ns mittels der Stellschraube variieren. Da die Koinzidenzeinheit kontinuierlich die Ausgangssignale „updated“ kann es sein, dass es erneut auslöst, bevor der aktuelle Puls beendet ist. Der überlappende Puls ist gleich der Dauer der beiden überlappenden Koinzidenzsignale und erzeugt eine Outputrate die der maximalen Input Rate entspricht.

## 6.11 Oszilloskop

**Anzeigeoptionen:** Das Oszilloskop bietet drei verschiedene Anzeigmöglichkeiten (siehe rote Box in Abb. 7):

- **Average:** Bei dem angezeigten Bild handelt es sich um ein Bild, welches die gemittelten Daten über einen einstellbaren Zeitraum anzeigt. Dieser Modus eignet sich in diesem Versuch nicht.
- **Envelope:** Dieser Modus zeigt jedes Signal an und „speichert“ es auf dem Bildschirm. So lässt sich eine Häufigkeitsverteilung im einen getriggerten Wert leichter erkennen.
- **Refresh:** In diesem Modus werden keine Signale vorbehalten, sondern das Display ständig aktualisiert.



**Abbildung 7:** Hameg Oszilloskop

**X-Scale:** setzt die Zeiteinheit pro Quadrant fest. Je nach Kürze oder Länge des Signal muss die Skala variiert werden.

**Y-Scale:** variiert die Volt Skala in y Richtung.

**Trigger:** Der Trigger (siehe grüne Boxen in Abb. 7) dient dazu, dass das Oszilloskop nur die „interessanten“ Signale anzeigt. Dazu gibt man dem Oszilloskop eine Schwelle vor, bei dessen Überschreitung der entsprechende Puls auf dem Display angezeigt wird. Im Falle einer negativen Schwelle muss der Puls diese unterschreiten und im Falle einer positiven Schwelle muss sie überschritten werden. Die Triggerschwelle lässt sich mit dem entsprechenden Drehknopf einstellen und die Schwelle wird auf dem Display mit einem kleinen Pfeil an der rechten Seite angezeigt. Zwei weitere einstellbare Funktionen sind:

- **Flanken:** Man kann mit dem kleinen Knopf links neben dem Drehknopf einstellen, ob auf die ansteigende oder abfallende Flanke des Signals getriggert werden soll.
- **P-Trigger:** Durch langes Drücken des Knopfes kann der P-Trigger wieder entfernt werden.

Um den Kanal, auf den getriggert wird, zu wechseln, muss der Knopf für den entsprechenden Kanal einmal gedrückt werden.

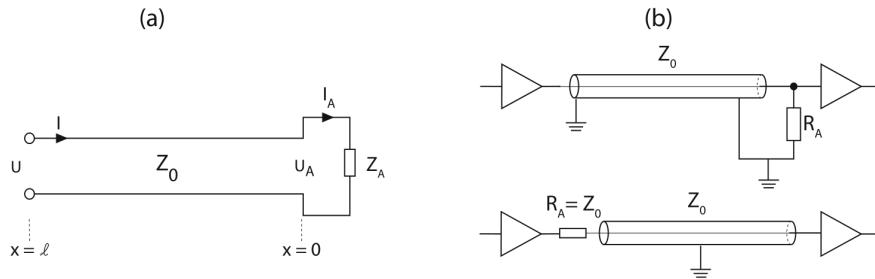
**Auto-Set** Dieser nützliche Knopf (siehe blaue Box in Abb. 7) hilft häufig dann, wenn man keine passende Einstellung findet um das gewünschte Signal zu sehen. Doch triggert das Oszilloskop dann immer auf Kanal 1. Viele Einstellungen wie X- und Y-Scale werden automatisch angepasst. Doch wird der P-Trigger nicht entfernt. Somit kann es sein, das sich die Darstellung nach Betätigung dieses Knopfes nicht verbessert hat.

#### Signalabschluss Ausschnitt aus [?]:

"Detektorsignale werden nach der ersten Verarbeitung am so genannten 'Front-End' meist über Wellenleiterkabel weiter transportiert und mit der 'Back-End'-Elektronik verbunden, zum Beispiel zur logischen Verarbeitung der Signale. Dabei müssen Störungen und insbesondere Reflexionen der Signalwellen an den Enden der Leitung vermieden werden. Das Verhältnis von Spannung und Strom ist während der Signalausbreitung durch den Wellenwiderstand  $Z_0$  festgelegt. Falls am Leitungsende ein anderer Widerstand als  $Z_0$  auftritt, so muss ein anderes Spannungs-Strom-Verhältnis eingestellt werden, das ein rücklaufendes Signal bewirkt, welches als Reflexion erscheint. Für Reflexionen am Leitungsende eines Wellenleiters ist daher der Abschlusswiderstand  $RZ_A$  entscheidend dafür, wie sich die hin- und die rücklaufenden Wellen am Leitungsende überlagern. [...] und das Verhältnis von rücklaufender zu hinlaufender Welle definiert den Reflexionsfaktor:

$$r = \frac{U_{02}}{U_{01}} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}.$$

Falls das Leitungsende offen ist ( $Z_A = \infty$ ), so ist  $r = 1$ , und das hinlaufende Signal wird unverändert reflektiert. Falls das Leitungsende kurzgeschlossen wird ( $Z_A = 0$ ), so ist  $r = -1$ , und das hinlaufende Signal wird mit invertierter Amplitude reflektiert. Zwischen diesen Extremwerten erfolgt eine teilweise Reflexion. Nur bei einem geeignet gewählten Abschlusswiderstand  $Z_A = Z_0$  treten keine Reflexionen auf ( $r = 0$ ). In Experimenten muss daher sorgfältig auf richtige Leitungsabschlüsse geachtet werden.



**Abb. 17.40** Abschluss einer Signalleitung mit einem Abschlusswiderstand ( $R_A = Z_A$ ): (a) Prinzip; (b) Beispiele mit Abschluss am Empfängerende und am Senderende (siehe Text, nach [749], mit freundl. Genehmigung von Springer Science+Business Media).

**Abbildung 8: aus [?]**

Abbildung 8b zeigt Abschlussmethoden am Empfängerende mit einem ohmschen Widerstand  $R_A = Z_A$  gegen Masse, parallel zum Empfänger und am Senderende mit  $R_A$  in Serie. Da in der Regel die als Dreiecke gezeichneten Sender- (Treiber) und Empfänger- gerverstärker hohe Eingangs- und niedrige Ausgangsimpedanzen besitzen, liefern diese Konfigurationen (seriell am Sender und parallel am Empfänger) jeweils etwa  $R_A$  als Gesamtimpedanz. Am Sender bilden allerdings  $R_A$  und der Kabelwiderstand  $Z_0$  einen Spannungsteiler, so dass der vom Sender ausgehende Puls (für  $R_A = Z_0$ ) halbiert wird. Am Empfängerende wird er allerdings mit gleichem Vorzeichen reflektiert, so dass die Überlagerung beider Pulse die Originalamplitude ergibt. Die Reflexion wird dann am Senderende in  $R_A$  absorbiert.

Typische Wellenwiderstände liegen in der Größenordnung von  $50\Omega$  bis  $75\Omega$  für Koaxial- und  $100\Omega$  für Flachbandkabel. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit

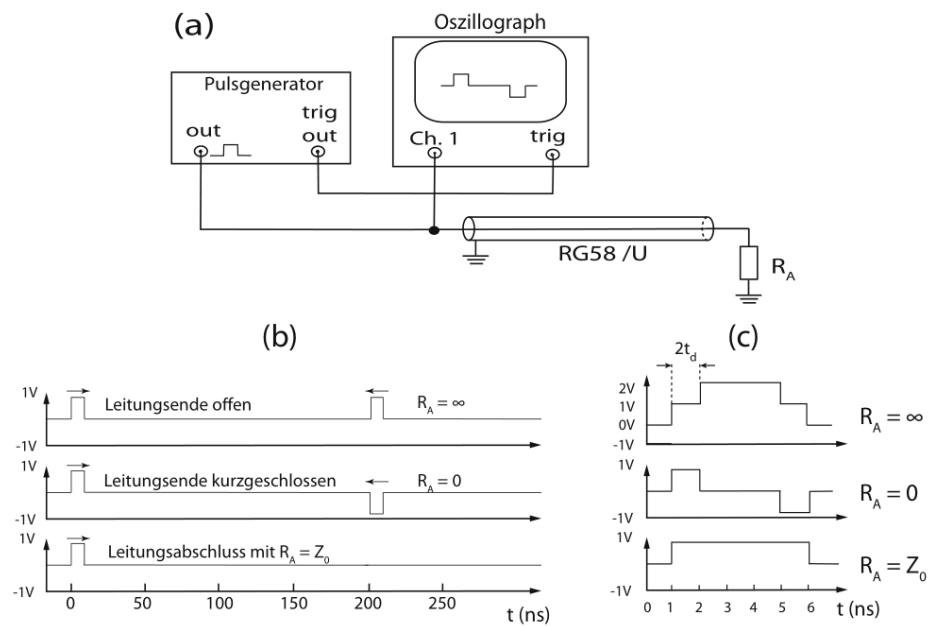
$$c_{ph} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

(mit  $\mu \approx 1$ ) entspricht einer typischen Signalgeschwindigkeit  $c_{ph}$  von etwa  $5\text{ ns m}^{-1}$  für Koaxalkabel.

Abbildung 9 zeigt die auftretenden Effekte für zwei verschiedene Verhältnisse von Puls- zu Kabellänge. Da der Ausgang des sendenden Verstärkers in der Regel eine kleine Ausgangsimpedanz ( $R \approx 0$ ) besitzt, wird ein gegebenenfalls am Kabelende reflektierter Puls erneut (invertiert) reflektiert und so fort. Eine saubere Auslese wird dadurch behindert, weil Signalfpulse mehrfach registriert werden. Die Verwendung korrekt terminierter Leitungsabschlüsse ist daher ein wichtiges Element der Detektorauslese. Am häufigsten wird ein Abschluss am Empfängerende durch einen Parallelwiderstand (zum Eingang des Empfängers) verwendet. Da Abschlüsse nie perfekt sind, findet man in kritischen Anwendungen zusätzlich einen seriellen Abschluss an der Senderseite, was allerdings einen Pulshöhenverlust um 50% bedeutet, weil die oben für den einseitigen Abschluss erwähnte Reflexion am Empfängerende (bei Abschluss mit  $R_A$ ) in diesem Fall nicht auftritt"

### 6.11.1 Auslese mit der Software

Die Software Hameg sp107E ermöglicht die Auslese der aktuell angezeigten Kurven auf dem Display des Oszilloskops. Am PC können die Kurven auch noch genauer untersucht werden u.a. die Amplitude und die Zeitdauer können genauer abgelesen werden. Mit Copy & Paste können die Bilder z.B. mit Paint gespeichert werden.



**Abb. 17.41** Reflexionen eines 5ns langen Signalpulses am Leitungsende. (a) Messaufbau, (b) Reflexionen bei einem 20 m langen Kabel mit einer Laufzeit  $t_d$  von 100 ns; (c) Reflexionen bei einem 10 cm langen Koaxialkabel mit einer Laufzeit  $t_d$  von 0.5 ns, bei dem sich der reflektierte Puls, der breiter als  $2t_d$  ist, um die Laufzeit der Hin- und Rücklaufstrecke (1 ns) verzögert dem Eingangspuls überlagert. Gemessen wird zum Beispiel mit einem Oszilloskop am Leitungsanfang. Der reflektierte Puls erscheint daher um  $2t_d$  verschoben rechts vom Eingangspuls.

**Abbildung 9: aus [?]**

## 7 Datenblätter

### 7.1 Amplifier

571

## Amplifier

Due to its versatility, the ORTEC Model 571 Amplifier is ideally suited for use with germanium detectors, silicon charged-particle detectors, proportional counters, scintillation counters, and pulsed ion chambers.

The 571 incorporates an automatic gated baseline restorer that offers exceptional performance over a very wide range of input counting rates (Fig. 1). The gated baseline restorer (BLR) includes a discriminator that operates the sensing circuits that normally establish the baseline reference for the MCA. Performance of the spectrometer depends on the precision of the setting of the BLR threshold. The Model 571 offers the convenience of an automatic threshold control, which typically gives as good or better results than those the most experienced operator could achieve manually.

The active filter networks permit the Model 571 to generate very symmetrical unipolar outputs with optimum signal-to-noise ratios over a wide range of time constants. The unipolar output can be internally delayed by 2  $\mu$ s via a front-panel control when desired for gating

purposes. The instrument also provides a bipolar output for timing and gating applications.

Any dc drift in an amplifier output causes spectrum broadening. The excellent dc stability of the Model 571 eliminates spectrum broadening caused by dc drift and ensures that the high resolution capability of germanium detectors is realized.



Fig. 2. BLR Auto Control.

- General-purpose amplifier for energy spectroscopy with all types of detectors
- Unipolar and bipolar outputs
- Selectable unipolar output delay
- Active filter networks with wide range of time constants
- Wide gain range
- Gated baseline restorer with automatic BLR threshold control for excellent counting rate performance

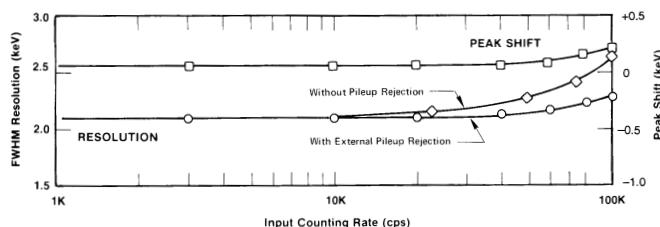


Fig. 1. Typical Resolution and Baseline Stability vs. Counting Rate for the Model 571 in a  $\gamma$ -Spectroscopy System.



3.29

# 571

## Amplifier

### Specifications

#### PERFORMANCE

**GAIN RANGE** Continuously adjustable from 1 to 1500.

**PULSE SHAPE** Semi-Gaussian on all ranges with peaking time equal to  $2.2\tau$  and pulse width at 0.1% level equal to 2.9 times the peaking time.

**INTEGRAL NONLINEARITY** For 2- $\mu$ s shaping time,  $<\!0.05\%$ .

**NOISE** Typically  $<5 \mu\text{V}$  for unipolar output referred to the input, using 2- $\mu$ s shaping and Coarse Gain  $\geq 100$ .

#### TEMPERATURE INSTABILITY

Gain  $\leq 0.0075\%/\text{°C}$ , 0 to 50°C.

DC Level  $\leq 50 \mu\text{V}/\text{°C}$ , 0 to 50°C.

**BIPOLAR CROSSOVER WALK**  $\leq 3$  ns at 0.5  $\mu$ s for 50:1 dynamic range, including contribution of an ORTEC Model 552 Single-Channel Analyzer.

**OVERLOAD RECOVERY** Recovers to within 2% of rated output from X800 overload in 2.5 nonoverloaded pulse widths using maximum gain for unipolar output. Same recovery from X1000 overload for bipolar.

**SPECTRUM BROADENING** Typically  $<16\%$  FWHM for a  $^{60}\text{Co}$  1.33-MeV gamma line at 85% of full scale for an incoming count rate of 1 to 100,000 counts/s. Unipolar output, 2- $\mu$ s shaping.

**SPECTRUM SHIFT** Peak position shifts typically  $<0.024\%$  for a  $^{60}\text{Co}$  1.33-MeV gamma line at 85% of full scale, measured from 1 to 100,000 counts/s at the unipolar output, 2- $\mu$ s shaping.

#### CONTROLS

**FINE GAIN** 10-turn precision potentiometer with graduated dial for continuously variable direct-reading gain factor X0.5 to X1.5.

**COARSE GAIN** 6-position switch selects feedback resistors for gain factors of 20, 50, 100, 200, 500, and 1k. Jumper on the printed wiring board (PWB) selects X0.1 attenuation.

**SHAPING TIME** 6-position switch selects time constants for active pulse-shaping filter network from 0.5, 1, 2, 3, 6, and 10  $\mu$ s.

**DELAY** Locking toggle switch selects either 2- $\mu$ s delay (In) or prompt (Out) timing for unipolar output.

**INPUT POLARITY** Locking toggle switch selects either Pos or Neg input pulse polarity.

**PZ ADJ** Screwdriver adjustable potentiometer to set the pole-zero cancellation to compensate input decay times from 40  $\mu$ s to  $\infty$ .

**BLR** 3-position locking toggle switch selects the source of control for the gated baseline restorer discriminator threshold from:

**Auto** The BLR threshold is automatically set to an optimum level, as a function of the signal noise, by an internal circuit.

**PZ Adj** The BLR threshold is determined by the threshold potentiometer. The BLR time constant is also greatly increased to facilitate PZ adjustment; this position may give the lowest noise for count rates under 5000 counts/s and/or longer shaping times.

**Threshold** The BLR threshold is manually set by the threshold potentiometer.

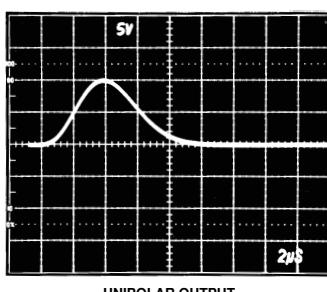
**DC** Screwdriver adjustable potentiometer to set the unipolar output dc level; range  $\pm 100 \text{ mV}$ .

#### INPUT

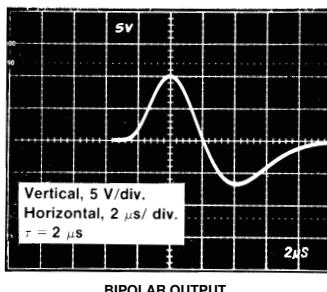
**INPUT** BNC front- and rear-panel connectors accept either positive or negative pulses with rise time of 10 to 650 ns and decay times of 40  $\mu$ s to  $\infty$ ;  $Z_{in} \leq 1000 \Omega$  dc-coupled; linear maximum 10 V; absolute maximum 20 V.

#### OUTPUTS

**UNI** Front-panel BNC connector with  $Z_o < 1 \Omega$  and rear-panel connector with  $Z_o = 93 \Omega$ , short circuit proof; prompt or delayed with full-



UNIPOLAR OUTPUT



BIPOLAR OUTPUT

scale linear range of 0 to +10 V; active filter shaped; dc-restored, dc level adjustable to  $\pm 100 \text{ mV}$ .

**BI** Front-panel BNC connector with  $Z_o < 1 \Omega$  and rear-panel connector with  $Z_o = 93 \Omega$ , short circuit proof; prompt output with positive lobe leading and linear range of  $\pm 10 \text{ V}$ ; active filter shaped.

**PREAMP POWER** Rear-panel standard ORTEC power connector, Amphenol 17-10090, mates with captive and noncaptive power cords on all ORTEC preamplifiers.

**BUSY OUTPUT** Rear-panel BNC connector with  $Z_o < 10 \Omega$  provides a +5 V logic pulse for the duration that the input pulse exceeds the baseline restorer discriminator.

#### ELECTRICAL AND MECHANICAL

**POWER REQUIRED** +12 V, 60 mA; -12 V, 30 mA; +24 V, 100 mA; -24 V, 105 mA.

#### WEIGHT

**Net** 1.5 kg (3.3 lb).

**Shipping** 3.1 kg (7.0 lb).

**DIMENSIONS** Standard single-width NIM module 3.43 X 22.13 cm (1.35 X 8.714 in.) per DOE/ER-0457T.

### Ordering Information

To order, specify:

Model      Description

571      Amplifier



## 7.2 Single Channel Analyser

# Single-Channel Pulse-Height Analyzers

## Contents

<b>Introduction</b>	4.1
<b>Single-Channel Analyzer Applications Guide</b>	4.3
<b>Single-Channel Analyzer Selection Guide</b>	4.4
550A Single-Channel Analyzer	4.5
551 Timing Single-Channel Analyzer	4.7
552 Pulse-Shape Analyzer/Timing SCA	4.9
583A Constant-Fraction Differential Discriminator/SCA	6.16
590A Amplifier and Timing Single-Channel Analyzer	3.40
850 Quad Single-Channel Analyzer	4.12

## Introduction

The amplitude of the analog pulse at the output of a spectroscopy amplifier is typically proportional to the charge released in the detector or to the energy of the detected event. Selection of a range of signal levels at the output of the amplifier is equivalent to the selection of a range of energies or charge for these events. This selection can be accomplished by the use of discriminators and single-channel analyzers (SCAs). A discriminator produces an output logic pulse only if its input signal exceeds a preset threshold level. A single-channel analyzer produces an output logic pulse only if the peak amplitude of its input signal falls within the pulse-height window that is established with two preset threshold levels.

Figure 1 shows three pulses that might be provided from a main amplifier to an integral discriminator. The first pulse has an amplitude less than the adjusted discriminator threshold and generates no output logic signal. Each of the last two pulses has sufficient amplitude to produce an output logic signal. The output signals indicated in Fig. 1 are generated when the leading edge of the input signal crosses the

discriminator threshold level. Therefore, the time of the output response is a function of the amplitude and rise time of the input signals. This amplitude and rise time dependence leads to "time walk" of the output signal relative to the beginning of the input pulse. The discriminator output is produced earlier by pulses with larger amplitudes and later by pulses with lower amplitudes.

Figure 2 shows three pulses that might be provided from a main amplifier to an SCA. Only the B pulse satisfies the conditions necessary to produce an SCA output logic signal.

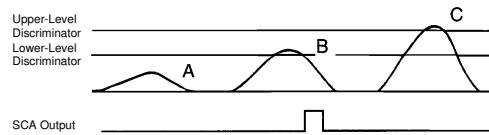


Fig. 2. Single-Channel Analyzer Function.

Removal of the upper-level-discriminator restrictions from the SCA allows it to be used as an integral discriminator. If the upper-level restrictions were removed from the unit whose output is shown in Fig. 2, both pulses B and C would be marked by logic outputs.

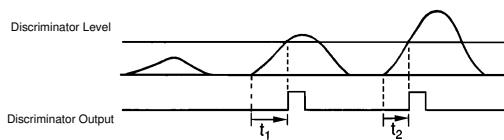


Fig. 1. Integral Discriminator Output Triggering.

## Single-Channel Pulse-Height Analyzers

Three primary modes of discriminator operation are available in ORTEC SCAs: Integral, Normal, and Window. In the Integral mode of operation, the SCA can function as an integral discriminator, as indicated in the preceding paragraph. In the SCA Normal mode of operation, the upper-level and lower-level thresholds are independently adjustable. In the SCA Window mode, the upper-level threshold control is used to establish a voltage level that is added to the lower-level threshold voltage to yield the upper-level discriminator (ULD) threshold level. Thus, when the lower-level setting is changed, the upper-level threshold changes by the same amount. An external voltage reference for the lower-level discriminator (LLD) can be supplied to scan the window through a preselected range of pulse heights.

Unlike an integral discriminator, the output logic signal from a single-channel analyzer must be produced after the input pulse reaches its maximum amplitude. This timing sequence must provide sufficient time for the SCA logic circuitry to determine if the input signal exceeded the upper-level threshold.

ORTEC provides two basic types or classifications of SCAs: non-timing SCAs and timing SCAs. The technique used to produce the output logic signals from an SCA determines its classification. Non-timing units, such as the Models 550A, and 850, produce an SCA output pulse if the input signal is within the window settings. The output occurs when the trailing edge of the input signal recrosses the lower-level threshold. Figure 3 shows two superimposed output pulses from a main amplifier that meet the window requirements of the single-channel analyzer. The output from the non-timing SCA for each pulse is shown below the pulses. Since the linear input pulses are referenced to the same starting time, it is clear that the output logic signals exhibit "time walk" relative to the input pulses.

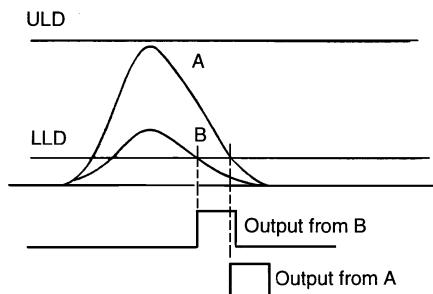


Fig. 3. Non-Timing SCA Output Triggering.

Timing SCAs, such as the ORTEC Models 551, 552, and 590A, produce SCA output logic signals that are precisely related in time to the occurrence of the event being measured. This time relationship implies that the time of occurrence of the SCA output signal is "walk-free" or nominally independent of the amplitude of the input signal, for a given rise time. In addition to simple counting applications, the time-related output can be used for coincidence measurement, pulse-shape discrimination, and other applications where the precise time of occurrence is important.

Figure 4 shows two pulses from a main amplifier and the response for a peak-detection single-channel analyzer such as the Model 590A Amplifier and Timing Single-Channel Analyzer. Although the amplitudes of the amplifier pulses differ, their peaks occur at approximately the same time, and the SCA outputs are produced when the peaks of the input pulses are detected.

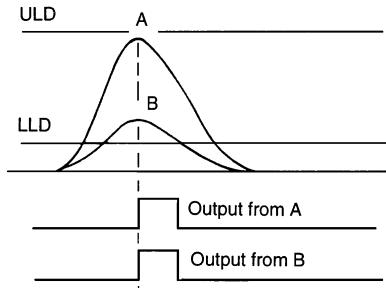


Fig. 4. Peak-Sensing SCA Output Triggering.

The conventional zero-crossing technique has been widely used for timing single-channel analyzers. This technique utilizes the zero-crossing of the bipolar output signal from a pulse-shaping amplifier to derive timing information, and uses the peak amplitude of the pulse for the energy range information. Figure 5 shows two bipolar pulses provided from a main shaping amplifier. Both pulses meet the SCA window requirements. Each output signal is generated when the corresponding input signal crosses the baseline. Figure 5 illustrates that the time of occurrence of the SCA output signals is precisely related to the occurrence of the detected event and is independent of input signal amplitude. Either double-delay-line-shaped pulses or RC-shaped pulses may be used, but the former provide better timing resolution. The bipolar output from delay-line amplifiers such as the Model 460 is well suited to zero-crossover timing with the ORTEC Model 552, because the input signal crosses the baseline with a large slope even when the pulse amplitude is low.

## Single-Channel Pulse-Height Analyzers

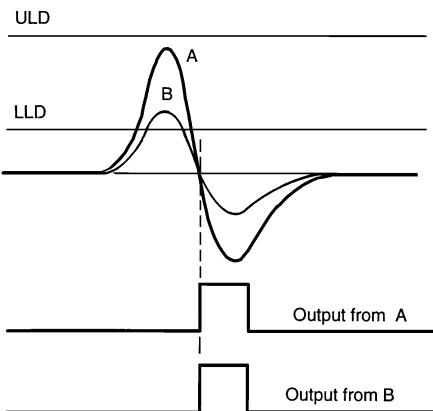


Fig. 5. Zero-Crossover SCA Output Triggering.

The bipolar output signal from a double-delay-line shaping amplifier crosses the baseline at a fixed fraction that is effectively 50% of the charge collected from the detector. Thus, conventional zero-crossing timing can be considered as timing at a constant fraction of the input signal amplitude. A trailing-edge constant-fraction technique\* can be used with either unipolar or bipolar signals to derive a time-pickoff pulse after the peak time of the signal from the shaping amplifier. This technique is extremely useful when incorporated in timing single-channel analyzers. Figure 6 illustrates the trailing-edge constant-fraction technique for two unipolar input signals of identical rise times but different amplitudes. The time of occurrence of the output signals is independent of output signal amplitudes.

The trailing-edge constant-fraction timing technique is available with two ORTEC SCAs: Models 551 and 552.

The Model 552 can also be used as a pulse-shape analyzer. The best known application of this technique is in the separation of the neutron and gamma responses of some scintillators (see page A.18). Collection time differences for the two types of radiation result in shape or rise time variations in the signals from a spectroscopy amplifier. When used with an ORTEC Time-to-Amplitude Converter, the Model 552 can resolve these shape variations over a 200:1 dynamic range of input signal amplitudes. The Model 552 accomplishes the shape measurement of the input signals by evaluating the timing at two different fractions.

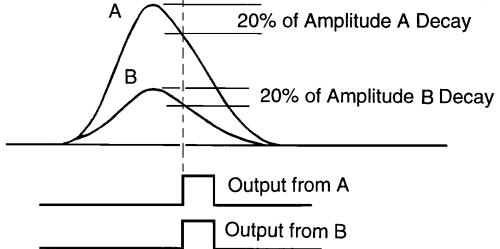


Fig. 6. Constant-Fraction SCA Output Triggering.

The SCA function can also be applied to fast analog signals in rising-edge constant-fraction discriminators. See the Fast-Timing Discriminators Section for details.

The following Selection Guide provides comparative data for all ORTEC Single-Channel Analyzers.

### Single-Channel Analyzer Applications Guide

Model	Recommendations
550A	Versatile, economical, general-purpose counting.
551	SCA plus constant-fraction timing.
552	SCA plus constant-fraction timing and pulse-shape analysis.
583A	SCA function in a fast-timing constant-fraction discriminator for signals from a photomultiplier anode.
590A	Cost efficient, includes built-in amplifier.
850	Economical, four SCAs in a single-width module for general-purpose counting.

\*The basic circuit for implementing this technique is patented by ORTEC, U.S. Patent No. 3,714,464.

## Timing Single-Channel Analyzer

The ORTEC Model 551 Timing Single-Channel Analyzer performs the dual functions of single-channel pulse-height analysis and timing signal derivation.

The patented\* trailing-edge constant-fraction timing technique provides unexcelled timing on either unipolar or bipolar signals and shows better results than are possible with conventional leading-edge discriminators.

With SCAs that utilize leading-edge timing, the rise time of the input pulses causes degradation of time resolution because the pulses have varying amplitudes.

Constant-fraction timing compensates for varying amplitudes and essentially eliminates this timing shift, giving consistently better timing results.

For the internally set 50% fraction, the output occurs soon after the midpoint on the linear input trailing edge to facilitate gating and accumulation of data at very high input rates. This technique also minimizes timing shift and dead time when used with sodium iodide, silicon, and germanium detectors, thereby allowing better system time resolution and higher counting rates.

The constant-fraction technique makes it possible to realize significant improvements in time resolution in most timing applications. Notice that analysis is made of the main amplifier output. This technique allows optimization of time resolution and extension of dynamic range for neutron-gamma discrimination and other timing applications. Walk of  $<3$  ns for 100:1 dynamic range using input pulses from a pulser is possible.

The Model 551 is versatile, with three basic operating modes provided. In the Window mode, the unit operates as a high-resolution, narrow (0 to 10%) window, single-channel analyzer. For wide-window applications, the Normal mode is used. In this mode the upper-level and lower-level controls are independently variable from 0 to 10 V, and an output is generated for pulses analyzed between the levels. Through use of the separate rear-panel LL Out

- Single-channel analyzer and timing signal derivation
- Trailing-edge constant-fraction timing provides walk  $<\pm 3$  ns for 100:1 dynamic range
- Integral, normal, and window modes
- Separate lower-level and upper-level discriminator outputs
- DC-coupled
- Adjustable delay 0.1 to 11  $\mu$ s
- Provision for external baseline sweep

and UL Out outputs, the unit can operate as a dual wide-dynamic-range integral discriminator for leading-edge timing or for pulse routing.

The dc-coupled input of the Model 551 makes it possible to take full advantage of the baseline restoration of the main amplifier for maximum performance at widely varying counting rates.

The continuously adjustable output delay (two ranges covering 0.1 to 11  $\mu$ s) makes it possible to align output signals that have actual time differences without a need for additional delay devices or modules. Alternatively an External strobe input can be used to cause an SCA output at the desired time.

For an application where it is desirable to scan an entire spectrum, an external base-line sweep input is provided via the rear-panel LL Ref Ext BNC connector. In this mode of operation, the baseline (lower-level threshold) on which a window is riding is swept through an energy range and the count rate is recorded as a function of energy.

\*U.S. Patent No. 3,714,464.



# Timing Single-Channel Analyzer

## Specifications

### PERFORMANCE

**DYNAMIC RANGE** 200:1.

**PULSE-PAIR RESOLVING TIME** Output pulse width plus Delay (as selected by the front-panel Delay controls), plus 100 ns for fast NIM output or plus 200 ns for positive NIM output. Minimum resolving time for negative output 220 ns; for positive output 800 ns.

### THRESHOLD TEMPERATURE

**INSTABILITY**  $\leq \pm 0.01\%/\text{C}$  of full scale, 0 to 50°C using a NIM Class A power supply (referenced to -12 V).

**DISCRIMINATOR NONLINEARITY**  $\leq \pm 0.25\%$  of full scale (integral) for both discriminators.

**DELAY TEMPERATURE INSTABILITY**  $\leq \pm 0.03\%/\text{C}$  of full scale, 0 to 50°C.

**DELAY NONLINEARITY**  $< \pm 2\%$  of delay range.

**WINDOW WIDTH CONSTANCY**  $\leq \pm 0.1\%$  variation of full-scale window width over the linear range 0 to 10 V.

**MINIMUM INPUT THRESHOLD** 50 mV for lower-level discriminator.

### TIME SHIFT vs PULSE HEIGHT (WALK)

Walk (ns)		Dynamic Range
System A	System B	
±1.0	±2.0	10:1
±2.5	±4.0	50:1
±3.0	±4.0	100:1

System A: Using an ORTEC Model 460 Amplifier, single delay-line mode, integrate  $\leq 0.1 \mu\text{s}$  with 1- $\mu\text{s}$  delay line.

System B: Using an ORTEC Model 570, 571, or 572 Amplifier, unipolar output with 0.5- $\mu\text{s}$  shaping time. Input from ORTEC Model 419 Pulser.

### CONTROLS

**LOWER LEVEL** Front-panel 10-turn potentiometer adjustable from 0 to 10 V; when the rear-panel LL Ref mode switch is set on Int, determines the threshold setting for the lower-level discriminator. When the LL REF mode switch on the rear panel is in the EXT position, this control is ineffective.

**WINDOW OR UPPER LEVEL** Front-panel 10-turn potentiometer determines the window width (0 to +1 V) in the Window mode or the upper-level (0 to +10 V) threshold in the Normal mode. This control is disabled in the Integral mode.

**INT/NOR/WIN** Front-panel 3-position locking toggle switch selects one of three operating modes:

**Integral** LL sets a single-discriminator threshold (0 to +10 V) and UL is disabled.

**Normal** UL and LL are independently adjustable levels (0 to +10 V).

**Window** LL sets the baseline level (0 to +10 V) and UL sets the window width (0 to +1 V).

**DELAY RANGE** Front-panel locking toggle switch selects delay ranges of 0.1 to 1.1  $\mu\text{s}$  or 1.0 to 11  $\mu\text{s}$ .

**DELAY** Front-panel 10-turn potentiometer for continuous adjustment of output delay over selected range. In the external strobe mode the delay control adjusts the automatic reset time from  $\approx 5 \mu\text{s}$  to 50  $\mu\text{s}$ .

**WALK ADJUST** Front-panel screwdriver adjustment for precise setting of walk compensation.

**LL REF MODE** Rear-panel 2-position locking toggle switch selects either the front-panel LL potentiometer or the voltage signal applied to the rear-panel LL REF EXT connector as the LL discriminator reference threshold.

**STROBE** Rear-panel 2-position locking toggle switch selects either Internal or External source for the SCA output signal strobe function.

### INPUTS

**SIGNAL INPUT** Front-panel dc-coupled BNC connector accepts positive unipolar or bipolar signal, 0 to +10 V linear range,  $\pm 12 \text{ V}$  maximum; width 100 ns;  $1000\text{-}\Omega$  input impedance. Rear-panel ac-coupled BNC connector accepts positive unipolar or bipolar signal, 0 to +10 V linear range,  $\pm 100 \text{ V}$  maximum; width 0.2 to 10  $\mu\text{s}$ ;  $1000\text{-}\Omega$  input impedance.

**LL REF EXT** When the rear-panel LL REF mode switch is on EXT, the rear-panel LL REF EXT BNC connector accepts the lower-level biasing (an input of 0 to -10 V on this connector corresponds to a range of 0 to 10 V for the lower-level discriminator setting). Input protected to  $\pm 24 \text{ V}$ .

**EXT STROBE INT** When the rear-panel EXT/INT STROBE locking toggle switch is in EXT, the rear-panel EXT STROBE IN BNC connector accepts a positive NIM-standard input, nominally +5 V, 500 ns wide, to cause an output to occur from the SCA. The external strobe should be given within 5  $\mu\text{s}$  (or 50  $\mu\text{s}$  as determined by the front-panel Delay control) of the linear input. At the end of this period, the Model 551 resets its internal logic without producing an output signal.

### OUTPUTS

**SCA POS OUT** Front- and rear-panel BNC connectors provide positive NIM-standard output, nominally +5 V; 500 ns wide;  $10\text{-}\Omega$  output impedance. For internal strobe the output occurs at the midpoint of the linear input trailing edge plus the output Delay as selected by the front-panel controls. For external strobe the output occurs at the time of strobe signal.

**SCA NEG OUT** Front-panel BNC connector provides fast NIM-standard output, nominally -16 mA (-800 mV on  $50\text{-}\Omega$  load); width  $\leq 20 \text{ ns}$ ; rise time  $\leq 5 \text{ ns}$ ;  $\leq 10\text{-}\Omega$  output impedance. Output occurs at the mid-point of the linear trailing edge plus the output Delay as selected by the front-panel controls.

**LL OUT** Rear-panel BNC connector provides positive NIM-standard output, nominally +5 V, 500 ns wide;  $\leq 10\text{-}\Omega$  output impedance. Output occurs as leading edge of linear input crosses the LL threshold.

**UL OUT** Rear-panel BNC connector provides NIM-standard output, nominally +5 V, 500 ns wide;  $\leq 10\text{-}\Omega$  output impedance. Output occurs as leading edge of linear input crosses the UL threshold.

### ELECTRICAL AND MECHANICAL

**POWER REQUIRED** +12 V, 160 mA; -12 V, 110 mA; +24 V, 90 mA; -24 V, 50 mA.

### WEIGHT

**Net** 1.1 kg (2.5 lb).

**Shipping** 2.25 kg (5.0 lb).

**DIMENSIONS** NIM-standard single-width module 3.43 X 22.13 cm (1.35 X 4.714 in.) per DOE/ER-0457T.

## Related Equipment

The Model 551 is compatible with all ORTEC amplifiers and other amplifiers having a 0 to 10 V positive, linear output range.

## Ordering Information

To order, specify:

Model	Description
551	Timing Single-Channel Analyzer



## 7.3 Multiport



### Features

- Up to six independent Multichannel Analyzers (in-the-field customer upgradable)
- Each MCA fully computer controlled
- 16K ADC, 1  $\mu$ s fast fixed conversion time with linearization enhancement circuit for excellent non-linearity
- Fully buffered memory allowing simultaneous ADC memory write and spectrum transfer to host computer
- PHA and MCS acquisition modes
- Full I/O control (including sample changer)
- On-board data backup
- Suitable for HPGe, NaI(Tl), CdTe, PIPS®, X-PIPS™ and other detector technologies
- Communications interface: Ethernet/USB or USB only
- Fully supported by Genie™ 2000 software

## Multiport II Multichannel Analyzer

### Description

The Multiport II is a double width NIM intended for use where existing amplifier and HVPS modules are to be combined with a high analog performance, low-cost ADC/MCA. It provides greater flexibility than traditional bus plug-in boards but at a comparable cost. Multiport II can be purchased in versions from one to six inputs. Units with fewer than six inputs can be field upgraded with additional inputs. Two communications interface versions are available: Ethernet/USB and USB only.

The Multiport II is easy to install and easy to link. Host computer interfacing is accomplished via a standard USB port or a standard Ethernet port (unshielded twisted pair) and through standard protocols. These widely recognized interfaces make the Multiport II compatible with a wide range of computer platforms, so the Multiport II user need not worry about compatibility as computer bus standards evolve. Also, multiple Multiport II units can be totally remote-controlled from a single computer. The Multiport II provides better performance and lower noise than plug-in PC board based MCAs by keeping all sensitive components out of the computer itself and by putting the MCA close to the radiation detectors. Furthermore, there is only one cable between the host computer and the Multiport II NIM module for simplicity of inter connection. Multiport II is suitable for use with a wide range of radiation detectors. Selecting a proper preamplifier, amplifier and high voltage power supply, makes Multiport II compatible with NaI(Tl), HPGe, SiLi, CdTe, ion implanted, plastic scintillation, BGO and other detector technologies. Modular NIM packaging makes it easy to reconfigure systems as needs change or as new technologies become available.

The use of parallel processing technique results in an effective zero time to "add one" in memory, resulting in a fast conversion time. Furthermore, the on-board implementation of the sliding scale method improves the linearity and the channel uniformity. To protect long collections from power failure, the Multiport II features on-board data and settings retention at fixed time intervals for each of its MCAs.

Multiport II provides full I/O support, including Canberra standard PUR/LTC, sample changer synchronization and advanced PHA operations.

For more flexibility and more applications, Multiport II supports both Pulse Height Analysis (PHA) and Multichannel Scaling (MCS) modes of operation. In MCA mode, a single channel analyzer (SCA) is also available as well as input/output that allows acquisition to be synchronized by external modules.



# Multiport II Multichannel Analyzer

SCA output works in both modes, PHA and MCS. In MCS mode, SCA pulses may also be selected as input pulses. The maximum input rate is 10 MHz in TTL input mode.

## Software Support

The Multiport II is fully supported by Genie 2000 software family suite. Multiport II is fully remote controlled under Genie 2000 (parameters such as gain, LLD, ULD, ADC zero and MCS parameters) via standard Genie 2000 tools. Genie 2000 supports a wide range of time proven spectral analysis algorithms, modern spectrum display and user interface as well as a variety of special applications programs. Genie 2000 software solutions are available for applications ranging as widely as laboratory gamma and alpha spectroscopy, waste measurement, whole body counting and nuclear safeguards.

## Specifications

### ADC INPUT

- ADC IN – Accepts positive unipolar or bipolar, positive lobe leading, pulses for PHA and MCS (Internal Pulse Source); amplitude 0 to +10 V or 0 to +5 V; switch selectable; rise time >0.25  $\mu$ s; width >0.5  $\mu$ s;  $Z_{in}$  = 1.33 k $\Omega$  (10 V range) or 2 k $\Omega$  (5 V range); direct coupled; front and rear panel BNCs, one pair per MCA.

### LOGIC INPUTS

Rear panel mini-D I/O connectors for logic input and output signals, one per MCA.

- XINPUT – External start/stop and sample changer ready input; active high, active low setting; 10 k $\Omega$  pull-up to 5 V; TTL pulse; pin 1 of the I/O connector.
- XSUSPEND – Suspends pulse processing and preset counters; fixed active low; 10 k $\Omega$  pull-up to +5 V; TTL pulse; pin 3 of the I/O connector.
- XDT – PUR dead time input; active high, active low setting; forced to inactive state by 1 k $\Omega$  pull-up to +5 V or pull-down to GND when no signal is present; TTL pulse; pin 5 of the I/O connector.
- XMCSRESTART – MCS sweep advance input; active high, active low setting; edge triggered; 10 k $\Omega$  pull-up to +5 V; TTL pulse; pin 10 of the I/O connector.
- XMCSADVANCE – External channel advance input; active high, active low setting; edge triggered; duration  $\geq$ 10 ns; max. rate 1 MHz; 10 k $\Omega$  pull-up to +5 V; positive TTL pulse; pin 11 of the I/O connector.
- XMCSPULSE – MCS input; active high, active low setting; edge triggered; duration  $\geq$ 10 ns; rate  $\leq$ 10 MHz; 10 k $\Omega$  pull-up to +5 V; positive TTL pulse; pin 12 of the I/O connector.
- XCOINC – Coincidence/Anticoincidence input; active high, active low setting; edge triggered, level sensitive selection; forced to inactive state by 1 k $\Omega$  pull-up to +5 V or pull-down to GND when no signal is present; TTL pulse; pin 13 of the I/O connector.
- XREJ – Pileup reject input; must occur during the ADC linear gate (LG) time active high, active low setting; forced to inactive state by 1 k $\Omega$  pull-up to +5 V or pull-down to GND when no signal is present; positive TTL pulse; pin 14 of the I/O connector.

### LOGIC OUTPUTS

Rear panel mini-D I/O connectors for logic input and output signals, one per MCA.

- XOUTPUT – Advance sample changer output; active high, active low setting; 150 ms TTL pulse; pin 2 of the I/O connector.
- XSCA – Single channel analyzer output;  $\approx$ 250 ns TTL pulse generated for input pulses detected between LLD and ULD; active high; pin 4 of the I/O connector.
- XLG – PUR linear gate output; active when ADC acquires an input pulse; active high, active low setting; TTL pulse; pin 6 of the I/O connector.
- XCOLLECTSTATUS – External acquire status; active high, active low setting; TTL pulse; pin 9 of the I/O connector.
- +5 V – Power output for external circuitry; 100 mA max. per connector; pin 7 of the I/O connector.

### REAR PANEL CONTROL

- RESET – Resets the CPU and communication; stops any acquisition in progress; spectra and MCA status stored in flash memory not affected; rear panel pushbutton.

### INTERNAL CONTROLS

- ADC INPUT RANGE – Sets the ADC input range to 0–10 V (default) or 0–5 V; slide switch on the MCA board.
- POWER SUPPLY VOLTAGE – Selects either  $\pm$ 12 V (default) or  $\pm$ 6 V; slide switch on the main board.

### SOFTWARE CONTROLS

- ADC LLD – 0 to 100% of full scale (4096 steps).
- ADC ULD – 0 to 110% of full scale (4096 steps).
- ADC ZERO –  $\pm$ 2.5% of full scale (4096 steps).
- ADC CONVERSION GAIN – 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16 384.
- REAL TIME PRESET – Maximum of  $\approx$ 49.71 days.
- LIVE TIME PRESET – Maximum of  $\approx$ 49.71 days.

### INDICATORS

- MCA #n – ON when MCA board in slot #n is installed and power in ON; front panel green LED.
- ACQUIRE – ON when the corresponding MCA is acquiring; front panel green LED.
- RATE – Flashes for every input pulse processed in the corresponding MCA; front panel yellow LED.
- COMM – ON when unit is ready for USB and/or Ethernet communication; flashes brighter when data transfer occurs; front panel yellow LED.

### COMMUNICATION

- USB – Standard USB port; rear panel USB type-B connector.
- ETHERNET – Optional Ethernet port; rear panel RJ-45 connector.

### PERFORMANCE

- INTEGRAL NONLINEARITY –  $<\pm$ 0.025% of full scale over the top 99.5% of selected range.
- DIFFERENTIAL NONLINEARITY –  $<\pm$ 0.9% of full scale over the top 99.5% of range including effects from differential nonlinearity.
- GAIN DRIFT –  $<\pm$ 0.005% of full scale/ $^{\circ}$ C.
- ZERO DRIFT –  $<\pm$ 0.005% of full scale/ $^{\circ}$ C.

# Multiport II Multichannel Analyzer

- LONG TERM DRIFT – <±0.005% of full scale/24 h at a constant temperature.
- PEAK SHIFT – <±0.025% of full scale at rates up to 100 kHz.
- ADC DEAD TIME – Linear gate time +1.2 µs.
- CHANNEL PROFILE – Typically flat over 90% of channel width.

## MCS –

- INPUT RATE – Up to 10 MHz.
- DWELL TIME – Software selectable from 1 µs to ≈71 min, with varying resolution in increments of 1 µs.
- SWEEP SELECTION – Software selectable preset sweeps from 1 to  $2^{32}$  –1.
- DEAD TIME – Between channels: 0. Between sweeps: 0 for internal sweep restart, 0–40 ns for external sweep restart.
- NUMBER OF CHANNELS – 16 384.
- COUNTS/CHANNEL –  $2^{32}$  –1.

## POWER

Depends on the setting of the internal control for Power Supply Voltage ( $\pm 12$  V or  $\pm 6$  V):

### ±12 V Power Supply –

One MCA board:  
+12 V dc – 250 mA      –12 V dc – 50 mA

Each additional MCA board:  
+12 V dc – 90 mA      –12 V dc – 50 mA

### ±6 V Power Supply –

One MCA board:  
+6 V dc – 475 mA      –6 V dc – 50 mA

Each additional MCA board:  
+6 V dc – 150 mA      –6 V dc – 50 mA

## PHYSICAL

- SIZE – Standard double width NIM module 6.86 x 22.12 cm (2.70 x 8.71 in.) per DOE/ER-0457T.
- NET WEIGHT – 1.36 kg (3.0 lb) with one MCA/ADC board.

## ENVIRONMENTAL

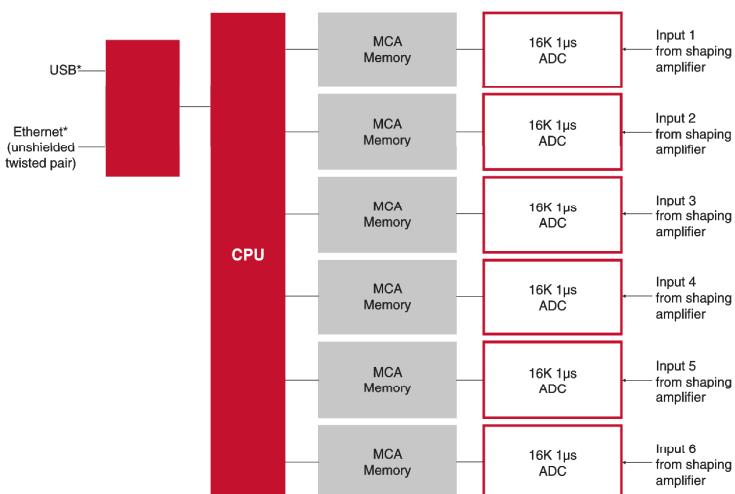
- OPERATING TEMPERATURE – 0–45 °C.
- OPERATING HUMIDITY – 0–80% relative, non-condensing. Meets the environmental conditions specified by EN 61010, Installation Category I, Pollution Degree 2.

## SYSTEM REQUIREMENTS

- A PC-based system with a USB port. Ethernet version also requires Ethernet connection.
- Model S500 Genie 2000 Basic Spectroscopy Software, V2.1a or later.

## Ordering Information

- MP2- $n$ U – Multiport II USB module with  $n$  inputs, where  $n$  is 1 to 6; not field upgradable to the Ethernet module; includes one 3 m shielded USB cable.
- MP2- $n$ E – Multiport II Ethernet/USB module with  $n$  inputs, where  $n$  is 1 to 6; includes one 3 m shielded USB cable.
- MPT2-MCA – One additional Multiport II MCA/ADC board.
- C1801 – Multiport II PUR/LTC Cable (included with each MCA/ADC board).
- C1802 – Multiport II PUR/LTC Start/Stop and Sample Changer Cable.
- C1804 – Multiport II PUR/LTC and MCS Start/Stop Cable.



\*Depending on communication interface version.

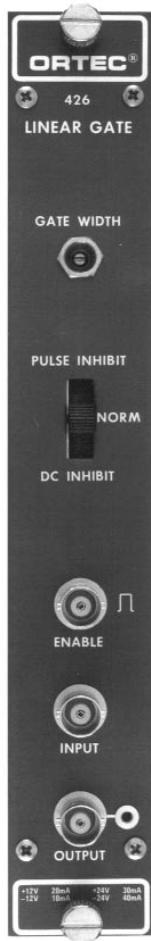
X-PIPS and Genie are trademarks of Canberra Industries, Inc.  
PIPS is a registered trademark of Canberra Industries, Inc.

©2008 Canberra Industries, Inc. All rights reserved.

## 7.4 Linear Gate

# 426 Linear Gate

- For passing and blocking analog signals in the range from +0.2 to +10 V
- Ungated or gated with coincidence or anticoincidence gating
- External or internal control of gate pulse width



The ORTEC Model 426 Linear Gate provides a variable gate duration with width controlled by a single-turn front-panel-mounted potentiometer. The nominal gate duration is from 0.3 to 4  $\mu$ s. Operation of the linear gate is controlled by a positive enable pulse. It is useful for selecting or inhibiting linear signals according to chosen coincidence or timing requirements.

The ORTEC Model 426 has two operating modes: all input signals not accompanied by an enable pulse are blocked or all signals are passed unless accompanied by an inhibit signal. The inhibit signal can be fed into the front-panel Enable connector for Pulse Inhibit operation or into the DC Inhibit connector for dc or continuous inhibit operation. The DC Inhibit mode provides external control of the gating period.

## Specifications

### PERFORMANCE

#### GAIN

Unity.  
**INTEGRAL NONLINEARITY**  $<\pm 0.15\%$  from 0.2 to 10 V.

**PULSE FEEDTHROUGH**  $<10$  mV with a 10-V input pulse.

**TEMPERATURE INSTABILITY**  $<\pm 0.015\%/\text{C}$ , 0 to 50  $^{\circ}\text{C}$ .

**COUNTING RATE** The gain shift of a 4-V reference pulse is  $<0.25\%$  with the application of an additional count rate of 65,000 counts/s of 6-V random pulses.

### CONTROLS

**GATE WIDTH** Continuously variable from 0.3 to 4  $\mu$ s.

**OUTPUT PEDESTAL** Adjustable to  $<1$  mV.

**PULSE INHIBIT/NORM/DC INHIBIT** 3-position mode switch permits selection of the function of any pulse or dc level furnished through the front-panel Enable Input connector, or the rear-panel DC Inhibit connector.

**Norm** Input pulse will be gated through to the output during a gate width interval following the leading edge of each Enable Input pulse.

**Pulse Inhibit** Input pulses will be inhibited from passing through the output during a gate width interval following each Enable Input pulse.

**DC Inhibit** Input pulses will be inhibited from passing through the output during intervals of pulses or dc levels through the rear-panel DC Inhibit connector.

### INPUTS

**LINEAR INPUT** Unipolar or bipolar with positive portion leading. Rated range 0.2 to 10 V, 12 V maximum. Input impedance  $>5000$   $\Omega$ ; BNC connector. Input is ac-coupled with a passive symmetric baseline restorer. BLR can be bypassed for dc-coupling.

**ENABLE OR INHIBIT INPUT** Any positive input  $>2$  V, maximum input 20 V. Enable impedance 1000  $\Omega$ , dc-coupled; Inhibit impedance 650  $\Omega$ , dc-coupled; BNC connector for each.

### OUTPUT

Rated output range 0.2 to 10 V positive; 12 V maximum. Output impedance  $\sim 2$   $\Omega$ , dc-coupled, short-circuit protected; BNC connector.

### ELECTRICAL AND MECHANICAL

**POWER REQUIRED** The Model 426 derives its power from a standard NIM bin/power supply. The power required is +24 V, 30 mA; -24 V, 49 mA; +12 V, 16 mA; -12 V, 4.9 mA.

### WEIGHT

**Net** 0.96 kg (2.1 lb)

**Shipping** 1.82 kg (4.0 lb).

**DIMENSIONS** NIM-standard single-width module 3.43 X 22.13 cm (1.35 X 8.714 in.) per DOE/ER-0457T.

## Ordering Information

To order, specify:

Model	Description
426	Linear Gate





## 7.5 Koinzidenzeinheit

Electronic Systems Engineering | PREP | Pool Cat...

[http://cdorg.fnal.gov/ese/prep/catalog/hardware\\_in/](http://cdorg.fnal.gov/ese/prep/catalog/hardware_in/)

# Fermilab Computing Sector

About      Services      Science & Computing      Internal      Search  

## Electronic Systems Engineering

465 Triple 4-fold Coincidence

[ESE Home](#) | [Metrics](#) | [Useful Links](#) | [Vendors List](#)  
[Return to LeCroy Directory](#) | [Return to Pool Catalog](#)

### GENERAL DESCRIPTION

The LRS Model 465 contains three independent high-speed general-purpose coincidence units in a single-width NIM module. Each channel has four coincidence inputs and a separate veto input which accept standard negative NIM logic levels. The logic inputs may be individually enabled or disabled without altering input cabling or termination by means of front-panel pushbutton switches. With all inputs enabled, four inputs are required. Disabling the logic inputs is equivalent to reducing the number of simultaneous negative inputs required for an output. Thus, each channel may be programmed for 4-fold, 3-fold, or 2-fold logic decisions. With only one input enabled, each channel of the 465 operates as a logic fan-out.

Once triggered by signals satisfying the input coincidence requirements, the 465 generates five NIM fast logic outputs: one pair of -32 mA negative preset outputs, one -16 mA preset complementary output, and one pair of -32 mA overlap outputs. The preset outputs are continuously adjustable from less than 5 ns to greater than 500 ns by means of a front-panel multiturn potentiometer and are independent of input overlap time, amplitude, and rate. Because it is updating, it may be retriggered even before the end of an output pulse that is already present. The overlap outputs are equal in duration to the coincidence overlap and produce outputs up to the maximum input rate capability.

The front-panel fast veto input accepts standard negative NIM-level pulses. To veto the linear outputs, the veto signal must completely overlap any input coincidence; to veto the preset outputs, a prompt overlap of the leading edge of the input signal that would otherwise create the coincidence condition is required. A rear-panel bin-gate switch permits a slower (50 ns response time) inhibiting of the 465 by a clamp to ground from +4 volts through the bin gate pin of the rear power connector.

The Model 465 is packaged in a standard AEC/NIM #1 module (AEC Report TID-20893) and uses exclusively Lemo-type front panel connectors.



### SPECIFICATIONS

#### INPUT CHARACTERISTICS

Logic Inputs:	4; Lemo-type connectors; 50 Ohm impedance; negative NIM-level input requirements; each input can be separately enabled or disabled by front-panel push-buttons.
Veto Input:	Standard negative NIM-level signal, 3.5 ns minimum width. Requires complete overlap of input coincidence for linear outputs and prompt overlap of the leading edge of the input signal that would otherwise create the coincidence condition for the preset outputs. (Veto should precede this leading edge by approximately 5 ns in this case.)
Bin Gate:	Via rear connector; clamp to ground from +4 volts inhibits; risetimes and falltimes < 50 ns.

#### OUTPUT CHARACTERISTICS

Preset Outputs:	3; one dual negative (quiescently 0 mA, -32 mA during output), one
-----------------	--

Overlap Outputs:	positive (quiescently -16 mA, 0 mA during output). Updating. One dual negative; quiescently 0 volts, -32 mA during output; duration equal to coincidence overlap. Non-updating.
Fan-Out:	5-fold, if each output drives a 50 Ohm load.
Duration:	Continuously adjustable from less than 5 ns to greater than 500 ns by means of front-panel, screwdriver-adjustable potentiometer. Width stability: better than +/- 0.2%/°C maximum.
Output Risetimes:*	OUT: <= 2.0 ns typical (max. 2.2 ns). /OUT: <= 2.2 ns typical (max. 2.5 ns; 3.0 ns with negative output unterminated).
Output Falltimes:*	OUT: <= 2.0 ns typical (max. 2.5 ns). Slightly longer on wide output durations. /OUT: <= 2.2 ns typical (max. 2.5 ns). Slightly longer on wide output durations.

## GENERAL

Logic:	2-fold, 3-fold, or 4-fold coincidences plus fan-out determined by selectively disabling logic input.
Coincidence Width:	1 ns up, determined by input pulse durations.
Rate:	120 MHz minimum.
Input-Output Delay:	13 ns preset; 8.5 ns linear.
Multiple-Pulsing:	None; one and only one output pulse of preset duration is produced each time the input conditions are satisfied regardless of the duration of the input pulses or their overlap.
Double-Pulse Resolution:	8 ns.
Packaging:	Single-width AEC/NIM module; in conformance with AEC standard; Lemo-type connectors used for all inputs and outputs.
Current Requirements:	+12 V at 65 mA +6 V at 125 mA -24 V at 5 mA -12 V at 135 mA -6 V at 640 mA

\*-100 mV to -700 mV.

For assistance, contact [Help Desk](#), [helpdesk@fnal.gov](mailto:helpdesk@fnal.gov)  
Information compiled and maintained by W. Barker ; last modified on October 22nd, 2008.  
(Address comments about page to [ese-pcadmin@fnal.gov](mailto:ese-pcadmin@fnal.gov))

## 8 Elemente

### 8.1 Thorium

BNM – LNHB/CEA – Table de Radionucléides



#### 1 Decay Scheme

Th-228 decays 100% by alpha-particle emission to various excited levels and the ground state of Ra-224.  
*Le thorium 228 se désintègre par émission alpha principalement vers le niveau fondamental et le niveau excité de 84,4 keV de radium 224.*

#### 2 Nuclear Data

$T_{1/2}(^{228}\text{Th})$  : 698,60 (23) d  
 $T_{1/2}(^{224}\text{Ra})$  : 3,627 (7) d  
 $Q^\alpha(^{228}\text{Th})$  : 5520,12 (22) keV

##### 2.1 $\alpha$ Transitions

	Energy keV	Probability $\times 100$	F
$\alpha_{0,8}$	4527,5 (3)	0,0000044 (12)	7,37
$\alpha_{0,7}$	4603,8 (3)	0,000017 (3)	6,96
$\alpha_{0,6}$	5040,9 (4)	0,000025 (5)	4370
$\alpha_{0,5}$	5087,1 (3)	0,000010 (3)	21300
$\alpha_{0,4}$	5229,76 (26)	0,036 (7)	44,1
$\alpha_{0,3}$	5269,34 (23)	0,20 (2)	13,6
$\alpha_{0,2}$	5304,14 (22)	0,38 (3)	11,5
$\alpha_{0,1}$	5435,75 (22)	26,2 (2)	0,948
$\alpha_{0,0}$	5520,12 (22)	73,2 (2)	1

## 2.2 Gamma Transitions and Internal Conversion Coefficients

	Energy keV	$P_{\gamma+\text{ce}} \times 100$	Multipolarity	$\alpha_K$	$\alpha_L$	$\alpha_M +$	$\alpha_T$
$\gamma_{4,2}(\text{Ra})$	74,4 (1)	0,016 (6)	[E2]		28,9 (8)	7,89 (16)	39,5 (8)
$\gamma_{1,0}(\text{Ra})$	84,373 (3)	26,6 (14)	E2		15,9 (3)	5,8 (1)	21,7 (4)
$\gamma_{2,1}(\text{Ra})$	131,612 (4)	0,155 (8)	E1	0,195 (4)	0,041 (1)	0,013 (1)	0,249 (6)
$\gamma_{5,4}(\text{Ra})$	142,7 (1)	0,0000041 (13)	[E2]	0,280 (6)	1,396 (28)	0,50 (1)	2,18 (4)
$\gamma_{3,1}(\text{Ra})$	166,410 (4)	0,205 (16)	E2	0,225 (5)	0,704 (14)	0,256 (5)	1,185 (24)
$\gamma_{5,3}(\text{Ra})$	182,3 (1)	0,0000056 (20)	[E1]	0,090 (2)	0,0178 (3)	0,0060 (1)	0,114 (2)
$\gamma_{4,1}(\text{Ra})$	205,99 (4)	0,0201 (11)	[E1]	0,0676 (14)	0,0131 (3)	0,0042 (1)	0,0849 (17)
$\gamma_{2,0}(\text{Ra})$	215,985 (4)	0,243 (22)	E1	0,0605 (12)	0,01160 (25)	0,0038 (1)	0,0759 (15)
$\gamma_{6,3}(\text{Ra})$	228,4 (2)	0,000025 (5)	[E2]	0,125 (2)	0,182 (4)	0,065 (1)	0,372 (7)
$\gamma_{7,2}(\text{Ra})$	700,4 (1)	0,0000029 (9)	E1	0,00508 (10)	0,00084 (2)	0,000270 (5)	0,00619 (12)
$\gamma_{8,3}(\text{Ra})$	741,87 (1)	0,0000014 (4)	[E2]	0,0121 (2)	0,00330 (6)	0,00110 (2)	0,0165 (3)
$\gamma_{7,1}(\text{Ra})$	832,0 (1)	0,000014 (2)	E2+M3	0,0098 (2)	0,00240 (5)	0,00090 (2)	0,0131 (3)
$\gamma_{8,1}(\text{Ra})$	908,28 (1)	0,0000016 (5)	[M1+50%E2]	0,0203 (20)	0,0038 (4)	0,0012 (1)	0,0253 (25)
$\gamma_{8,0}(\text{Ra})$	992,65 (6)	0,0000014 (4)	[E2]	0,00720 (15)	0,00160 (3)	0,00050 (1)	0,0093 (2)

## 3 Atomic Data

### 3.1 Ra

$$\begin{aligned}\omega_K &: 0,968 \quad (4) \\ \bar{\omega}_L &: 0,452 \quad (18) \\ n_{KL} &: 0,801 \quad (5)\end{aligned}$$

#### 3.1.1 X Radiations

	Energy keV	Relative probability
X <sub>K</sub>		
K $\alpha_2$	85,43	61,22
K $\alpha_1$	88,47	100
K $\beta_3$	99,432	}
K $\beta_1$	100,13	}
K $\beta_5''$	100,738	}
		34,9
K $\beta_2$	102,89	}
K $\beta_4$	103,295	}
KO <sub>2,3</sub>	103,74	}
		11,51
X <sub>L</sub>		
L $\ell$	10,622	
L $\alpha$	12,196 – 12,339	
L $\eta$	13,662	
L $\beta$	14,236 – 15,447	
L $\gamma$	17,848 – 18,412	

## 6 Photon Emissions

### 6.1 X-Ray Emissions

		Energy keV	Photons per 100 disint.	
XL	(Ra)	10,622 — 18,412	8,8 (4)	
XK $\alpha_2$	(Ra)	85,43	0,0172 (8)	} K $\alpha$
XK $\alpha_1$	(Ra)	88,47	0,0281 (12)	}
XK $\beta_3$	(Ra)	99,432	}	
XK $\beta_1$	(Ra)	100,13	0,0098 (5)	K' $\beta_1$
XK $\beta_5''$	(Ra)	100,738	}	
XK $\beta_2$	(Ra)	102,89	}	
XK $\beta_4$	(Ra)	103,295	0,00323 (16)	K' $\beta_2$
XKO <sub>2,3</sub>	(Ra)	103,74	}	

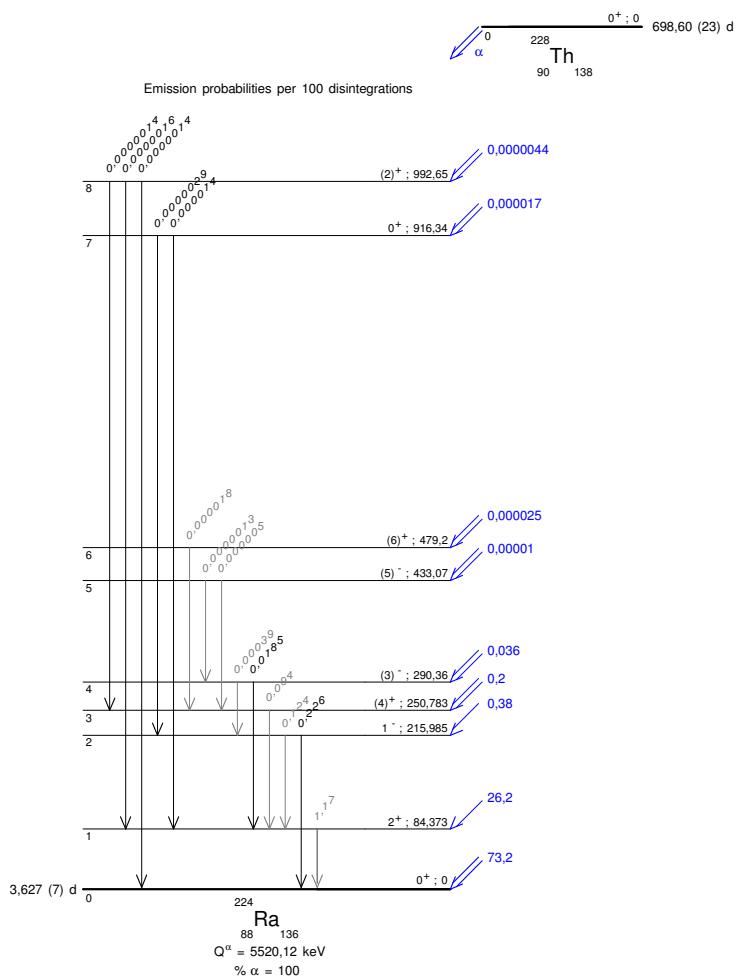
### 6.2 Gamma Emissions

	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{4,2}(\text{Ra})$	74,4 (1)	0,00039 (14)
$\gamma_{1,0}(\text{Ra})$	84,373 (3)	1,17 (5)
$\gamma_{2,1}(\text{Ra})$	131,612 (4)	0,124 (6)
$\gamma_{5,4}(\text{Ra})$	142,7 (1)	0,0000013 (4)
$\gamma_{3,1}(\text{Ra})$	166,410 (4)	0,094 (7)
$\gamma_{5,3}(\text{Ra})$	182,3 (1)	0,0000050 (18)
$\gamma_{4,1}(\text{Ra})$	205,99 (4)	0,0185 (10)
$\gamma_{2,0}(\text{Ra})$	215,985 (4)	0,226 (20)
$\gamma_{6,3}(\text{Ra})$	228,4 (2)	0,000018 (4)
$\gamma_{7,2}(\text{Ra})$	700,4 (1)	0,0000029 (9)
$\gamma_{8,3}(\text{Ra})$	741,87 (1)	0,0000014 (4)
$\gamma_{7,1}(\text{Ra})$	832,0 (1)	0,000014 (2)
$\gamma_{8,1}(\text{Ra})$	908,28 (1)	0,0000016 (5)
$\gamma_{8,0}(\text{Ra})$	992,65 (6)	0,0000014 (4)

## 7 Main Production Modes

Th – 230(p,t)Th – 228

Th – 230( $\alpha,\alpha'2n\gamma$ )Th – 228



## 8.2 Europium

BNM – LNHB/CEA – Table de Radionucléides

$^{152}_{63}\text{Eu}$   $^{89}_{89}$



### 1 Decay Scheme

Eu-152 disintegrates 72.1% by electron-capture and about 0.027% by emission of positrons to Sm-152 and by beta minus emission (27.9%) to Gd-152.

*Leuropium 152 se désintègre par capture électronique (72,1%) et par émission de positron (environ 0,027%) vers le samarium 152 et par émission bêta moins (27,9%) vers le gadolinium 152.*

### 2 Nuclear Data

$T_{1/2}(^{152}\text{Eu})$	: 13,522 (16)	a
$Q^-(^{152}\text{Eu})$	: 1818,8 (11)	keV
$Q^+(^{152}\text{Eu})$	: 1874,3 (7)	keV

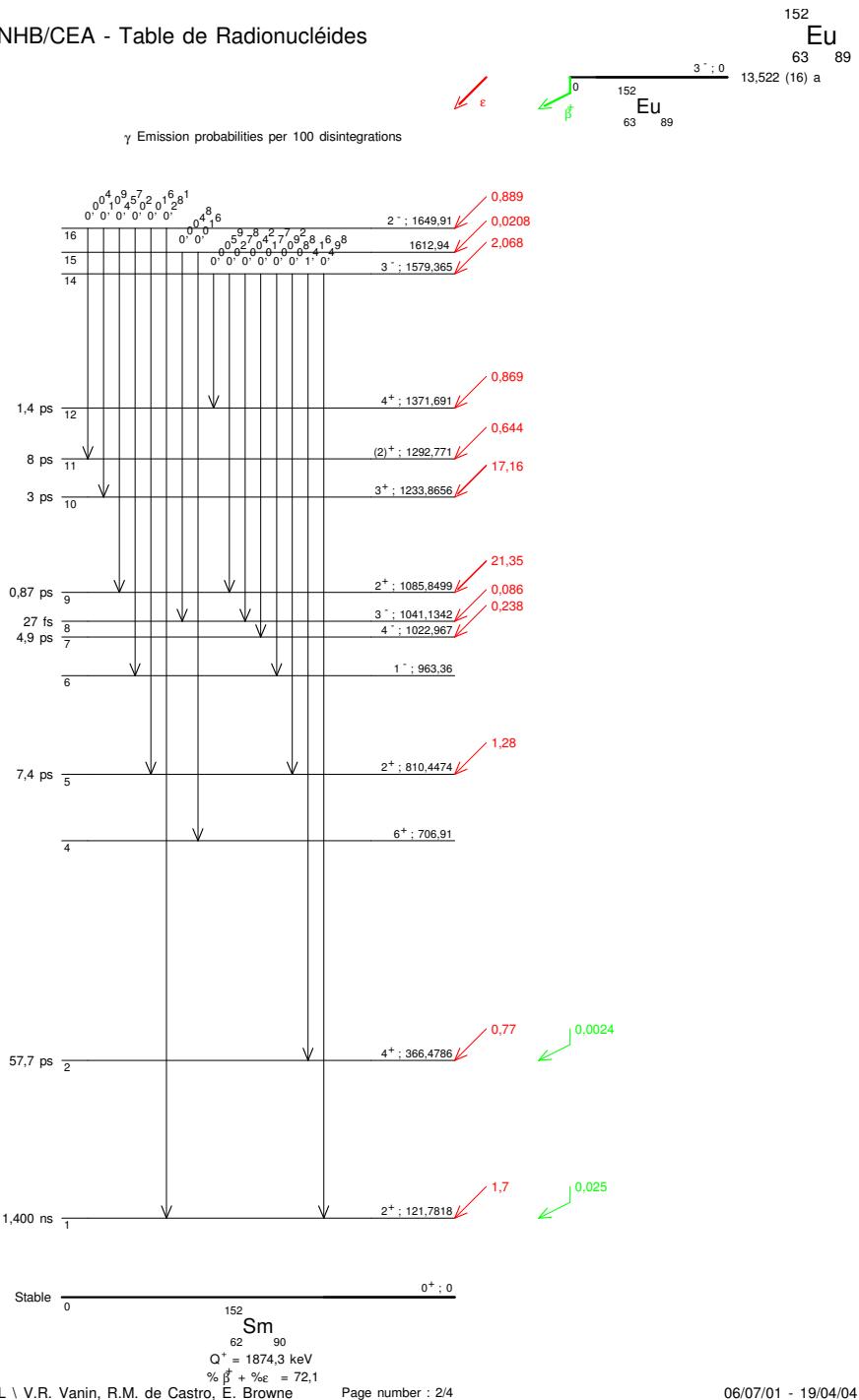
#### 2.1 Electron Capture Transitions

	Energy keV	Probability $\times 100$	Nature	$\lg ft$	$P_K$	$P_L$	$P_M$
$\epsilon_{0,19}$	105,2 (7)	0,068 (5)	1st Forbidden	10,3	0,6586 (33)	0,2591 (24)	0,0657 (12)
$\epsilon_{0,18}$	117,1 (7)	0,041 (3)	1st Forbidden	10,7	0,6903 (28)	0,2358 (20)	0,0591 (11)
$\epsilon_{0,17}$	144,1 (7)	0,0422 (12)	(Allowed)	10,9	0,7339 (23)	0,2036 (16)	0,0499 (9)
$\epsilon_{0,16}$	224,4 (7)	0,889 (14)	Allowed	10,1	0,7859 (19)	0,1651 (13)	0,0392 (7)
$\epsilon_{0,15}$	261,4 (7)	0,0208 (14)		11,9	0,7966 (18)	0,1571 (13)	0,0370 (7)
$\epsilon_{0,14}$	294,9 (7)	2,068 (12)	Allowed	10	0,8036 (17)	0,1519 (12)	0,0356 (7)
$\epsilon_{0,13}$	344,5 (7)	24,72 (11)	Allowed	9,1	0,8109 (17)	0,1465 (12)	0,0341 (7)
$\epsilon_{0,12}$	502,6 (7)	0,869 (24)	1st Forbidden	10,9	0,8236 (16)	0,1370 (11)	0,0316 (6)
$\epsilon_{0,11}$	581,5 (7)	0,644 (10)	(1st Forbidden)	11,2	0,8271 (16)	0,1344 (11)	0,0309 (6)
$\epsilon_{0,10}$	640,4 (7)	17,16 (8)	1st Forbidden	9,8	0,8291 (16)	0,1329 (11)	0,0305 (6)
$\epsilon_{0,9}$	788,5 (7)	21,35 (11)	1st Forbidden	9,9	0,8327 (15)	0,1302 (11)	0,0297 (6)
$\epsilon_{0,8}$	833,2 (7)	0,086 (7)	Allowed	12,4	0,8335 (15)	0,1296 (11)	0,0296 (6)
$\epsilon_{0,7}$	851,3 (7)	0,238 (5)	1st Forbidden	11,9	0,8338 (15)	0,1294 (11)	0,0295 (6)
$\epsilon_{0,5}$	1063,9 (7)	1,28 (3)	1st Forbidden	11,4	0,8366 (15)	0,1273 (11)	0,0290 (6)
$\epsilon_{0,2}$	1507,8 (7)	0,77 (5)	1st Forbidden	12	0,8398 (15)	0,1249 (11)	0,0283 (5)
$\epsilon_{0,1}$	1752,5 (7)	1,7 (10)	1st Forbidden	11,8	0,8408 (15)	0,1241 (10)	0,0281 (5)

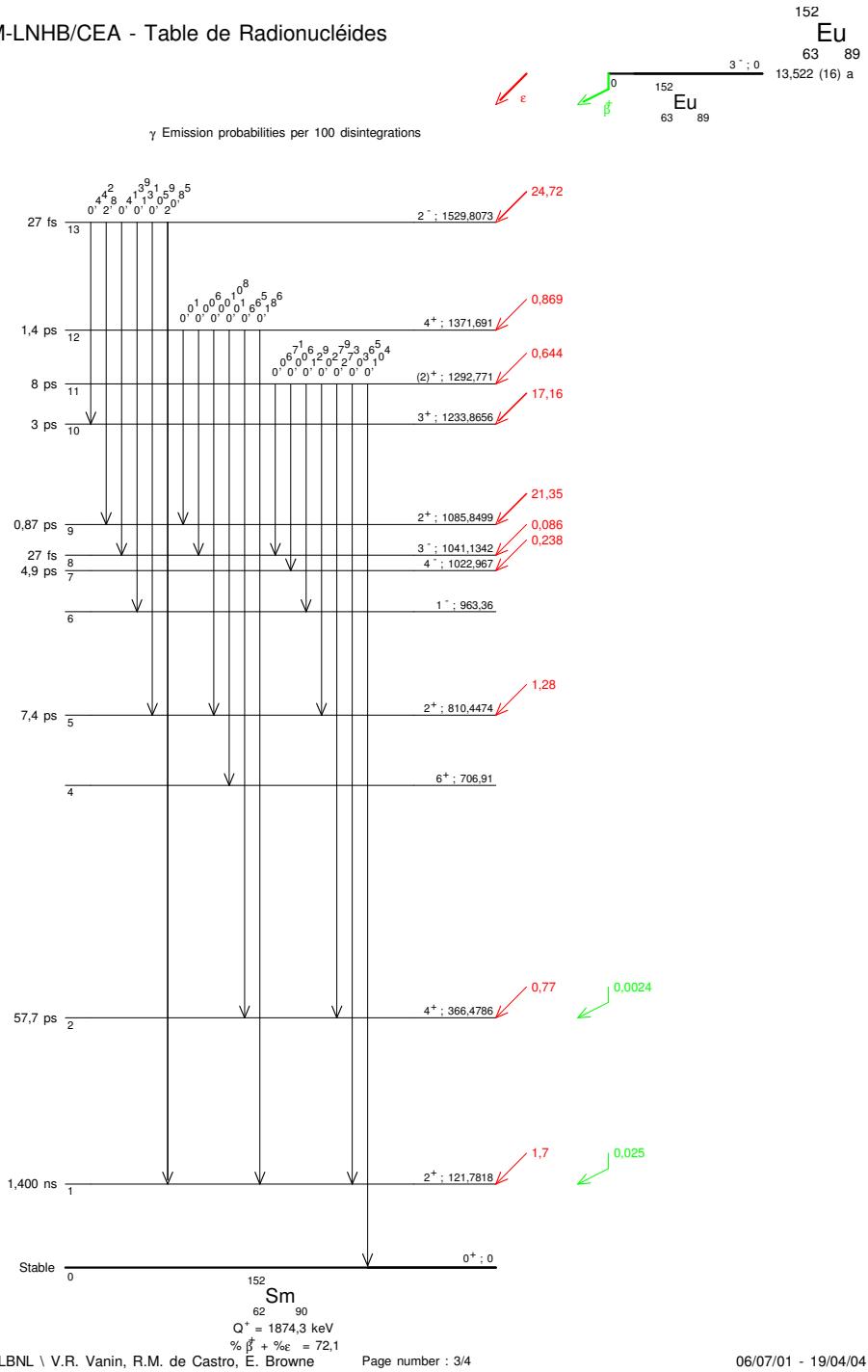
	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{11,4}(\text{Gd})$	503,474 (5)	0,1533 (18)
$\gamma^{\pm}$	511	0,054 (30)
$\gamma_{14,7}(\text{Gd})$	520,227 (5)	0,0536 (13)
$\gamma_{18,10}(\text{Sm})$	523,13 (5)	0,0113 (21)
$\gamma_{8,3}(\text{Gd})$	526,881 (20)	0,0129 (6)
$\gamma_{14,6}(\text{Gd})$	534,245 (7)	0,0368 (19)
$\gamma_{(-1,5)}(\text{Sm})$	535,4 (4)	0,0060 (16)
$\gamma_{14,8}(\text{Sm})$	538,29 (6)	0,0042 (6)
$\gamma_{14,7}(\text{Sm})$	556,56 (3)	0,0177 (11)
$\gamma_{13,5}(\text{Gd})$	557,91 (17)	0,0044 (7)
$\gamma_{12,5}(\text{Sm})$	561,2 (5)	0,00108 (21)
$\gamma_{3,1}(\text{Sm})$	562,93 (2)	0,038 (13)
$\gamma_{16,9}(\text{Sm})$	563,990 (7)	0,457 (13)
$\gamma_{13,6}(\text{Sm})$	566,442 (5)	0,131 (4)
$\gamma_{15,8}(\text{Sm})$	571,83 (8)	0,0048 (8)
$\gamma_{4,1}(\text{Gd})$	586,265 (3)	0,462 (4)
$\gamma_{(-1,6)}(\text{Sm})$	595,61 (1)	0,0031 (17)
$\gamma_{14,6}(\text{Sm})$	616,05 (3)	0,0092 (6)
$\gamma_{17,9}(\text{Sm})$	644,37 (5)	0,0063 (6)
$\gamma_{7,2}(\text{Sm})$	656,489 (5)	0,1437 (18)
$\gamma_{12,4}(\text{Sm})$	664,78 (5)	0,010 (3)
$\gamma_{18,9}(\text{Sm})$	671,155 (17)	0,0194 (13)
$\gamma_{8,2}(\text{Sm})$	674,675 (3)	0,170 (4)
$\gamma_{13,4}(\text{Gd})$	674,677 (3)	0,0171 (18)
$\gamma_{11,3}(\text{Gd})$	678,623 (5)	0,470 (4)
$\gamma_{(-1,7)}(\text{Sm})$	683,32 (11)	0,0031 (8)
$\gamma_{16,6}(\text{Sm})$	686,61 (5)	0,0200 (17)
$\gamma_{5,1}(\text{Sm})$	688,670 (5)	0,841 (6)
$\gamma_{(-1,8)}(\text{Sm})$	696,87 (19)	0,0029 (10)
$\gamma_{10,2}(\text{Gd})$	703,25 (6)	0,0035 (9)
$\gamma_{5,1}(\text{Gd})$	703,25 (6)	0,0018 (9)
$\gamma_{14,4}(\text{Gd})$	712,843 (6)	0,0961 (19)
$\gamma_{13,5}(\text{Sm})$	719,349 (4)	0,059 (7)
$\gamma_{9,2}(\text{Sm})$	719,349 (4)	0,268 (13)
$\gamma_{19,8}(\text{Sm})$	727,99 (14)	0,0106 (13)
$\gamma_{(-1,9)}(\text{Sm})$	735,4 (1)	0,0058 (10)
$\gamma_{(-1,10)}(\text{Sm})$	756,12 (9)	0,0054 (8)
$\gamma_{6,1}(\text{Gd})$	764,900 (9)	0,190 (4)
$\gamma_{14,5}(\text{Sm})$	768,944 (9)	0,088 (3)
$\gamma_{7,1}(\text{Gd})$	778,9045 (24)	12,97 (6)
$\gamma_{12,3}(\text{Gd})$	794,81 (3)	0,0263 (10)
$\gamma_{19,6}(\text{Sm})$	805,70 (7)	0,0125 (8)
$\gamma_{5,0}(\text{Sm})$	810,451 (5)	0,317 (3)
$\gamma_{16,5}(\text{Sm})$	839,36 (4)	0,0160 (8)
$\gamma_{6,1}(\text{Sm})$	841,574 (5)	0,163 (2)
$\gamma_{10,2}(\text{Sm})$	867,380 (3)	4,243 (23)
$\gamma_{(-1,11)}(\text{Sm})$	896,58 (9)	0,0669 (21)

	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{7,1}(\text{Sm})$	901,181 (11)	0,084 (3)
$\gamma_{15,4}(\text{Sm})$	906,01 (6)	0,016 (1)
$\gamma_{8,1}(\text{Sm})$	919,337 (4)	0,429 (5)
$\gamma_{11,2}(\text{Sm})$	926,317 (15)	0,273 (4)
$\gamma_{4,0}(\text{Gd})$	930,58 (15)	0,0729 (19)
$\gamma_{15,3}(\text{Gd})$	937,050 (15)	0,0027 (6)
$\gamma_{19,5}(\text{Sm})$	958,63 (5)	0,0210 (19)
$\gamma_{6,0}(\text{Sm})$	963,390 (12)	0,1341 (20)
$\gamma_{9,1}(\text{Sm})$	964,079 (18)	14,50 (6)
$\gamma_{10,1}(\text{Gd})$	974,09 (4)	0,0138 (8)
$\gamma_{13,2}(\text{Gd})$	990,19 (3)	0,0315 (13)
$\gamma_{(-1,12)}(\text{Sm})$	1001,1 (3)	0,0046 (10)
$\gamma_{12,2}(\text{Sm})$	1005,272 (17)	0,665 (23)
$\gamma_{(-1,15)}(\text{Sm})$	1084 (1)	0,244 (8)
$\gamma_{9,0}(\text{Sm})$	1085,837 (10)	10,13 (6)
$\gamma_{11,1}(\text{Gd})$	1089,737 (5)	1,73 (1)
$\gamma_{6,0}(\text{Gd})$	1109,174 (12)	0,186 (4)
$\gamma_{10,1}(\text{Sm})$	1112,076 (3)	13,41 (6)
$\gamma_{(-1,13)}(\text{Sm})$	1139 (1)	0,0013 (3)
$\gamma_{11,1}(\text{Sm})$	1170,93 (11)	0,0365 (13)
$\gamma_{12,1}(\text{Gd})$	1206,11 (15)	0,0135 (8)
$\gamma_{14,2}(\text{Sm})$	1212,948 (11)	1,416 (9)
$\gamma_{12,1}(\text{Sm})$	1249,938 (13)	0,186 (3)
$\gamma_{13,1}(\text{Gd})$	1261,343 (23)	0,0336 (11)
$\gamma_{11,0}(\text{Sm})$	1292,778 (19)	0,104 (3)
$\gamma_{14,1}(\text{Gd})$	1299,142 (8)	1,633 (9)
$\gamma_{9,0}(\text{Gd})$	1314,7 (2)	0,0048 (6)
$\gamma_{15,1}(\text{Gd})$	1348,10 (7)	0,0175 (8)
$\gamma_{17,2}(\text{Sm})$	1363,77 (5)	0,0256 (8)
$\gamma_{18,2}(\text{Sm})$	1390,36 (16)	0,0048 (6)
$\gamma_{13,1}(\text{Sm})$	1408,013 (3)	20,85 (8)
$\gamma_{14,1}(\text{Sm})$	1457,643 (11)	0,498 (4)
$\gamma_{16,1}(\text{Sm})$	1528,103 (18)	0,281 (5)
$\gamma_{13,0}(\text{Gd})$	1605,61 (7)	0,0081 (4)
$\gamma_{17,1}(\text{Sm})$	1608,36 (8)	0,0053 (3)
$\gamma_{18,1}(\text{Sm})$	1635,2 (5)	0,00015 (5)
$\gamma_{14,0}(\text{Gd})$	1643,6 (1)	0,0015 (4)
$\gamma_{19,1}(\text{Sm})$	1647,41 (14)	0,0064 (4)
$\gamma_{(-1,14)}(\text{Sm})$	1674,30 (6)	0,0060 (8)
$\gamma_{19,0}(\text{Sm})$	1769,09 (5)	0,0092 (3)

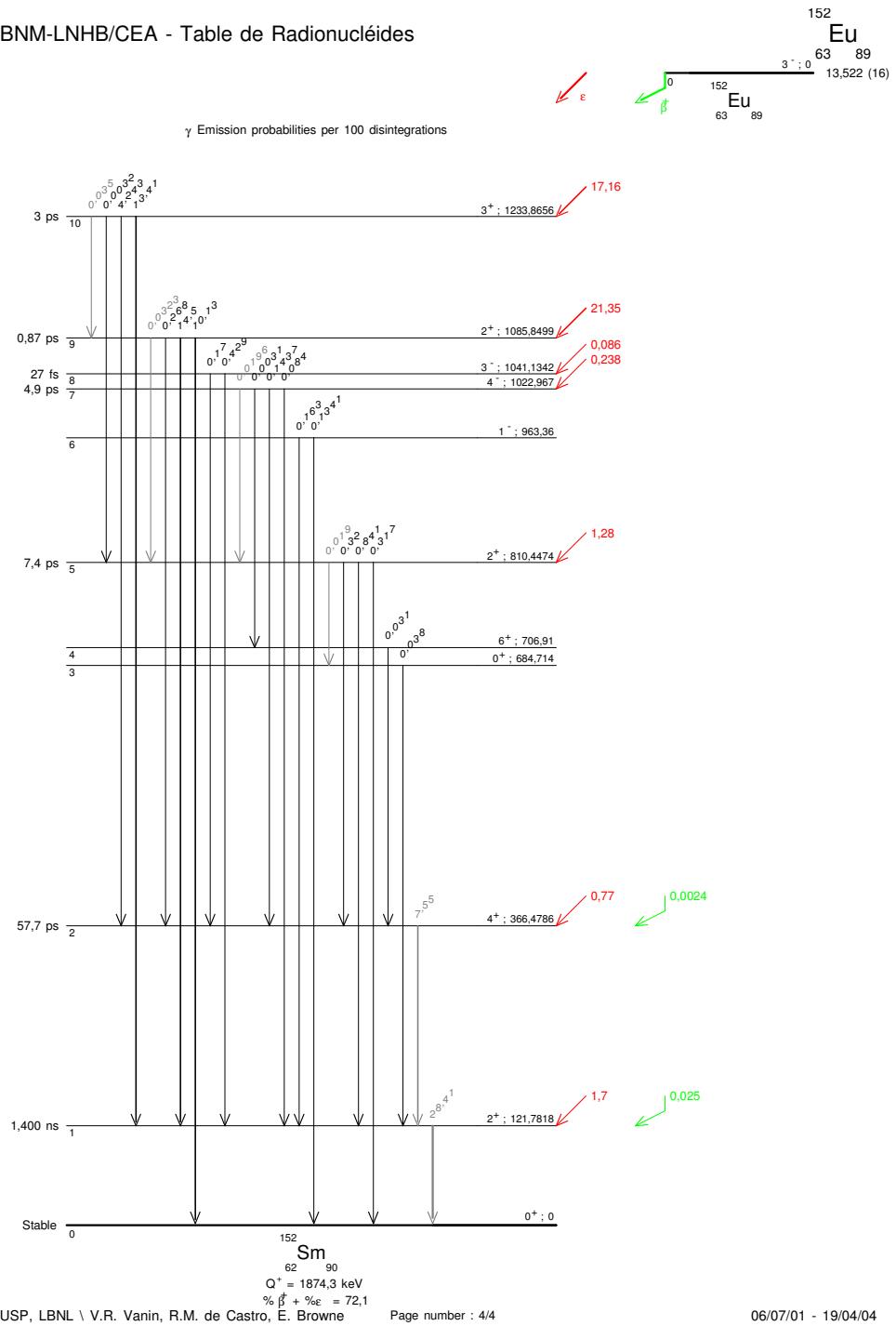
BNM-LNHB/CEA - Table de Radionucléides



BNM-LNHB/CEA - Table de Radionucléides

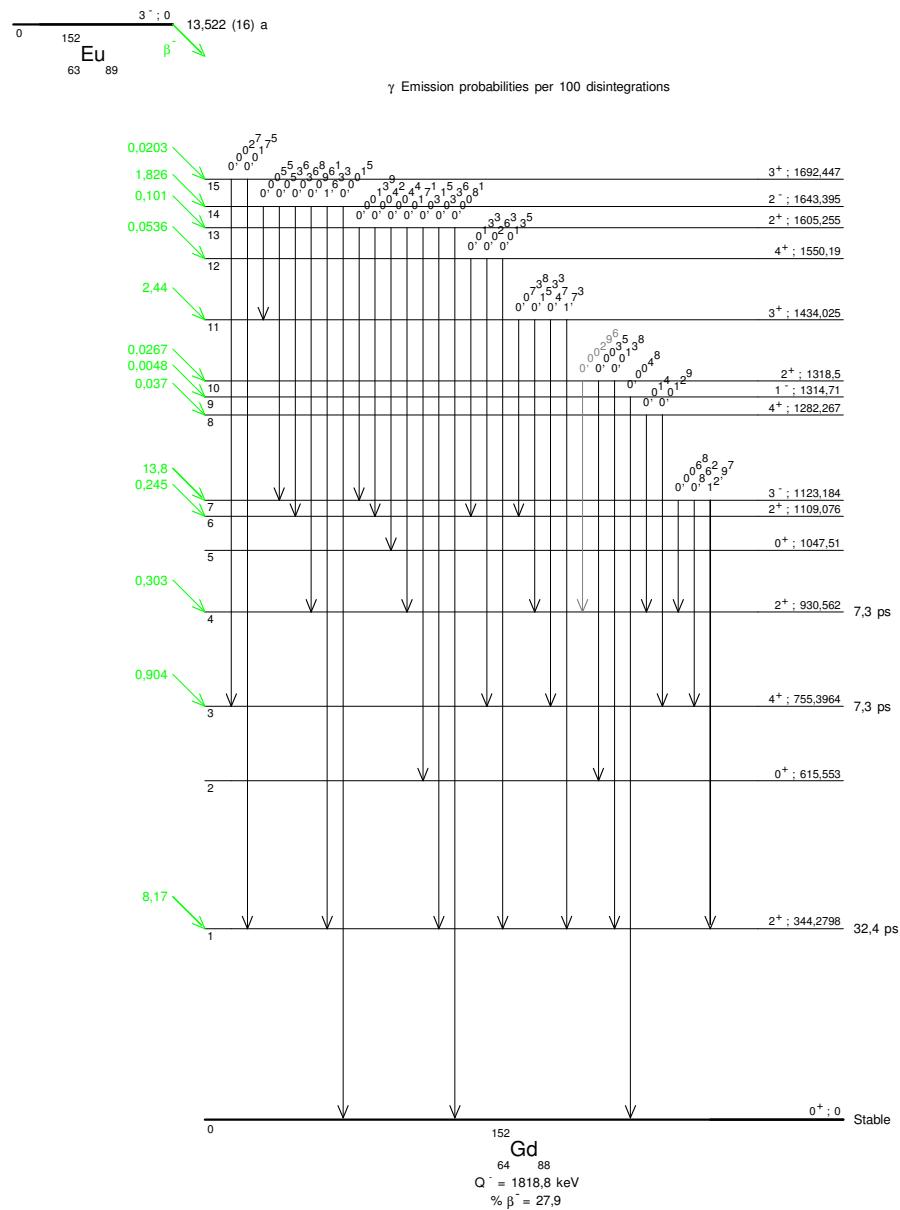


BNM-LNHB/CEA - Table de Radionucléides



BNM-LNHB/CEA - Table de Radionucléides

<sup>152</sup>  
Eu  
63 89



## 8.3 Cobalt

LNE – LNHB/CEA Table de Radionucléides

$^{60}_{27}\text{Co}_{33}$



### 1 Decay Scheme

Co-60 disintegrates by beta minus emissions to excited levels of Ni-60.  
*Le cobalt 60 se désintègre par émission bêta moins vers des niveaux excités de nickel 60.*

### 2 Nuclear Data

$$\begin{array}{lll} T_{1/2}(^{60}\text{Co}) & : & 5,2711 \quad (8) \quad \text{a} \\ Q^-(^{60}\text{Co}) & : & 2823,07 \quad (21) \quad \text{keV} \end{array}$$

#### 2.1 $\beta^-$ Transitions

	Energy keV	Probability $\times 100$	Nature	lg ft
$\beta_{0,3}^-$	317,32 (21)	99,88 (3)	Allowed	7,51
$\beta_{0,2}^-$	664,46 (21)	0,002	Unique 2nd Forbidden	
$\beta_{0,1}^-$	1490,56 (21)	0,12 (3)	Unique 2nd Forbidden	14,7

#### 2.2 Gamma Transitions and Internal Conversion Coefficients

	Energy keV	$P_{\gamma+ce}$ $\times 100$	Multipolarity	$\alpha_K$ ( $10^{-4}$ )	$\alpha_L$ ( $10^{-4}$ )	$\alpha_T$ ( $10^{-4}$ )	$\alpha_\pi$ ( $10^{-5}$ )
$\gamma_{3,2}(\text{Ni})$	347,14 (7)	0,0075 (4)	[E2]	49,9 (15)	5,03 (15)	55,7 (17)	
$\gamma_{2,1}(\text{Ni})$	826,10 (3)	0,0076 (8)	M1+45%E2	3,0 (4)	0,291 (17)	3,4 (4)	
$\gamma_{3,1}(\text{Ni})$	1173,240 (3)	99,85 (3)	E2(+M3)	1,51 (7)	0,148 (4)	1,68 (4)	0,62 (7)
$\gamma_{1,0}(\text{Ni})$	1332,508 (4)	99,9988 (2)	E2	1,15 (5)	0,113 (3)	1,28 (5)	3,4 (4)
$\gamma_{2,0}(\text{Ni})$	2158,61 (3)	0,0012 (2)	E2	0,445 (14)	0,043 (2)	0,495 (15)	
$\gamma_{3,0}(\text{Ni})$	2505,748 (5)	0,0000020 (4)	E4	0,780 (3)	0,076 (3)	0,86 (3)	

#### 4 Electron Emissions

		Energy keV	Electrons per 100 disint.
eAL	(Ni)	0,7 - 0,9	0,0392 (12)
eAK	(Ni)		0,0154 (5)
	KLL	6,26 - 6,54	}
	KLX	7,20 - 7,47	}
	KXY	8,10 - 8,32	}
ec <sub>3,1</sub> K	(Ni)	1164,895 (3)	0,0151 (9)
ec <sub>1,0</sub> K	(Ni)	1324,157 (6)	0,0115 (6)
ec <sub>1,0</sub> $\alpha$	(Ni)	310,51 (1)	0,0034 (4)
$\beta_{0,3}^-$	max:	317,32 (21)	99,88 (3)
$\beta_{0,3}^-$	avg:	95,6 (1)	
$\beta_{0,2}^-$	max:	664,46 (21)	0,002
$\beta_{0,2}^-$	avg:	274,8 (1)	
$\beta_{0,1}^-$	max:	1490,56 (21)	0,12 (3)
$\beta_{0,1}^-$	avg:	625,6 (1)	

#### 5 Photon Emissions

##### 5.1 X-Ray Emissions

		Energy keV	Photons per 100 disint.
XL	(Ni)	0,74 — 0,94	0,0002
XK $\alpha_2$	(Ni)	7,46097	0,00334 (12) }
XK $\alpha_1$	(Ni)	7,47824	0,0065 (3) }
XK $\beta_3$	(Ni)	8,2647 }	
XK $\beta_1'$	(Ni)		0,00136 (5) K' $\beta_1$
XK $\beta_5''$	(Ni)	8,3287 }	

## 5.2 Gamma Emissions

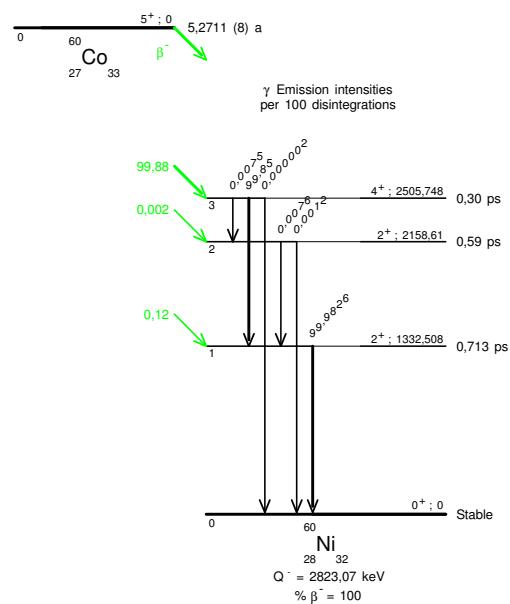
	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{3,2}(\text{Ni})$	347,14 (7)	0,0075 (4)
$\gamma_{2,1}(\text{Ni})$	826,10 (3)	0,0076 (8)
$\gamma_{3,1}(\text{Ni})$	1173,228 (3)	99,85 (3)
$\gamma_{1,0}(\text{Ni})$	1332,492 (4)	99,9826 (6)
$\gamma_{2,0}(\text{Ni})$	2158,57 (3)	0,0012 (2)
$\gamma_{3,0}(\text{Ni})$	2505,692 (5)	0,0000020 (4)

## 6 Main Production Modes

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Co} - 59(n,\gamma)\text{Co} - 60 \quad \sigma : 18,7 \text{ (5) barns} \\ \text{Possible impurities : None.} \end{array} \right.$$

## 7 References

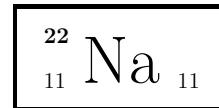
- J.J.LIVINGOOD, G.T.SEAOBORG. Rev. Mod. Phys. 12 (1940) 30 (Half-life)
- E.SEGRÈ, C.E.WEIGAND. Phys. Rev. 75 (1949) 39 (Half-life)
- G.L.BROWNELL, C.J.MALETSKOS. Phys. Rev. 80 (1950) 1102 (Half-life)
- W.K.SINCLAIR, A.F.HOLLOWAY. Nature 167 (1951) 365 (Half-life)
- J.TOBAILEM. Compt. Rend. 233 (1951) 1360 (Half-life)
- J.KASTNER, G.N.WHYTE. Phys. Rev. 91 (1953) 332 (Half-life)
- E.E.LOCKETT, R.H.THOMAS. Nucleonics 11,3 (1953) 14 (Half-life)
- G.L.KEISTER, F.H.SCHMIDT. Phys. Rev. 93 (1954) 140 (Beta emission probabilities)
- J.L.WOLFSON. Can. J. Phys. 33 (1955) 886 (Gamma emission probabilities)
- J.L.WOLFSON. Can. J. Phys. 34 (1956) 256 (Beta emission probabilities)
- K.W.GEIGER. Phys. Rev. 105 (1957) 1593 (Half-life)
- J.P.KEENE, L.A.MACKENIE, C.W.GILBERT. Phys. in Med. Biol. 2 (1958) 360 (Half-life)
- D.C.CAMP, L.M.LANGER, D.R.SMITH. Phys. Rev. 123 (1961) 241 (Beta emission probabilities)
- S.G.GORBICS, W.E.KUNZ, A.E.NASH. Nucleonics 21,1 (1963) 63 (Half-life)
- S.C.ANSPACH, L.M.CAVALLO, S.B.GARFINKEL, J.M.R.HUTCHINSON, C.N.SMITH. NP-15663 (1965) (Half-life)
- F.LAGOUTINE, Y.LE GALLIC, J.LEGRAND. Int. J. Appl. Radiat. Isotop. 19 (1968) 475 (Half-life)



## 8.4 Natrium

LNE – LNHB/CEA Table de Radionucléides

$^{22}_{11}\text{Na}$



### 1 Decay Scheme

Na-22 disintegrates predominantly to the 1275 keV level of Ne-22 . A very small fraction (0,056 %) disintegrates to the ground state of Ne-22.

*Le Na-22 se désintègre essentiellement vers le niveau de 1275 keV de Ne-22 par émission bêta plus et capture électronique. Une faible proportion (0,056 %) se désintègre vers le niveau fondamental.*

### 2 Nuclear Data

$T_{1/2}(^{22}\text{Na})$	:	2,6029	(8)	a
$Q^+(^{22}\text{Na})$	:	2843,02	(21)	keV

#### 2.1 Electron Capture Transitions

	Energy keV	Probability $\times 100$	Nature	lg ft	$P_K$	$P_L$
$\epsilon_{0,1}$	1568,44 (21)	9,64 (9)	Allowed	7,41	0,923 (4)	0,077 (4)
$\epsilon_{0,0}$	2843,02 (21)	0,00098 (25)	Unique 2nd Forbidden	14,91		

#### 2.2 $\beta^+$ Transitions

	Energy keV	Probability $\times 100$	Nature	lg ft
$\beta_{0,1}^+$	546,44 (21)	90,30 (9)	Allowed	7,4
$\beta_{0,0}^+$	1821,02 (21)	0,055 (14)	Unique 2nd Forbidden	14,9

#### 4 Electron Emissions

		Energy keV	Electrons per 100 disint.
eAK	(Ne)		8,8 (1)
	KLL	0,75 - 0,81	}
ec <sub>1,0</sub> α	(Ne)	252	0,002339 (30)
β <sub>0,0</sub> <sup>+</sup>	max:	1821,02 (21)	0,055 (14)
β <sub>0,0</sub> <sup>+</sup>	avg:	835,04 (19)	
β <sub>0,1</sub> <sup>+</sup>	max:	546,44 (21)	90,30 (9)
β <sub>0,1</sub> <sup>+</sup>	avg:	215,62 (17)	

#### 5 Photon Emissions

##### 5.1 X-Ray Emissions

		Energy keV	Photons per 100 disint.
XKα <sub>2</sub>	(Ne)	0,8486	0,0453 (25) }
XKα <sub>1</sub>	(Ne)	0,8486	0,090 (5) }

##### 5.2 Gamma Emissions

		Energy keV	Photons per 100 disint.
γ <sup>±</sup>		511	180,7 (2)
γ <sub>1,0(Ne)</sub>		1274,537 (7)	99,94 (13)

#### 6 Main Production Modes

