

Praktikum B - Versuch B3.4 Positronen-Emissions-Tomografie

Jesco Talies, Timon Danowski, Erik Gasmus

9. Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Versuchsaufbau

1.2 Ziel

Die Positronen-Emissions-Tomografie macht sich die Eigenschaft der e^+e^- -Vernichtung zu nutze. Die entstehenden Photonen werden dabei mit zwei Detektoren koinzident nachgewiesen werden. Der Ziel des Versuches ist der Nachweis von Radiokativken Quellen in einem Verschlussenen Behälter und die untersuchung der relativen Intensitäten der Quellen und die Winkelabhängigkeit.

2 Versuchsvorbereitung

Für das Verständnis:

1. Warum PET?

- Um veränderungen in gewebe schon während der Veränderung zu erkennen werden abbaubare Radiokativke tracer injiziert deren aktivität durch eine koinzidenzmessung bestimmt wird. Bei einer koinzidenzmessung zerstrahlt ein Positon mit einem Elektron zu zwei gamma quanten mit gleicher energie $E=511$ keV die Kollinear auseinanderfliegen. Wir in zwei detektoren gleichzeitig ein Ereigniss registriert nennt man das koinzidenz und diese koinzidenz ist sehr wahrscheinlich auf die zerstrahlung eines Gamma-QUants zurückzuführen. Aus eine großen anzahl dieser aktivität lässt sich die aktivität in dieser ebene rekonstruieren. Die tracer müssen eine geeignete halbwertszeit haben und werden daher idr in einem synchrotron in der nähe des PET hergestellt. Es kommen nur kerne mit Beta+ zerfall in frage. Es kommt zu falschmessungen durch Positronen die nicht am or ihrer emission zerstrahlen sondern ihre 2mm reichweite im gewebe nutzen

2. Ziel des Versuchs

- Ziel ist es die physikalischen und elektronischen grundlagen der PET kennenzulernen.

3. β -zerfall

- Der Beta+ Zerfall ist ein Radioaktiver zerfallsprozess bei dem ein proton in ein Neutron umgewandelt wird, dabei wird ein Positron und ein neutrino erzeugt. die Massenzahl A bleibt konstant Der equivalente prozess zum beta+ Zerfall ist der Electron capture, dort entstehen jedoch keine positronen

4. Paarvernichtung

- eine entstandenes Positron wird in der Materie zunächst abgebremst und kann danach mit einem Elektron unter aussendung zweier gamma quanten zerstrahlen. Wenn sich das Elektron-Positron paar in ruhe befindet werden aufgrund der impulserhaltung die bbeiden abgestrahlten photonen koliniar dh. im 180° winkel abgestrahlt. Der wirkungsquerschnitt ist stark energieabhängig

5. Szintillatoren und Photonmultiplier

- Ein Anorganischer Szintillationszähler besteht aus einem Szintillationskristall und einem Photomultiplier. Im kristall werden über Anregung und photonemission Ereignisse detekiert. Austretende photonen werden dann durch den Photoeffekt in Freie elektronen umgesetzt und im Photomultiplier beschleunigt und vervielfältigt. Die Stärke des signal ist direkt proportional zur energie des Ereignisses

Folgende Fragen sind notwendig für das Verständnis des Versuchs und dienen als Vorbereitung für diesen.

1. Warum PET?

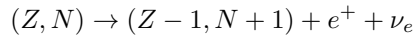
- Was ist grundlegend nötig um PET zu betreiben? Eine Quelle für geeignete isotope (zb. einen synchrotron) als tracer. Und einen detektor zur messung der koinzidenzen.
- Welche Eigenschaften sollte ein Isotop haben um in frage zu kommen? Eine relativ kurze halbwertszeit im Stunden bereich und einen β^+ zerfall
- Was genau Versteht man unter falschen koinzidenzen? Es entstehen und verschwinden stehts koinzidenzen auf natürliche art und weise, so gibt es umweltstrahlung, streuung der künstlichen inzedenzen oder absorbtion.

2. Ziel des Versuchs

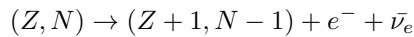
- Wie muss die Truhe gescannt werden um ein eindeutiges ergebniss bzgl der lage und der aktivität der quellen zu erhalten? Abschn 5.6

3. β -zerfall

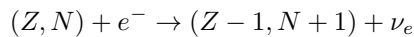
- β^+ -Zerfall Beim β^+ zerfällt ein Proton in ein Neutron unter entstehung eines Positrons und eines Neutrinos



- β^- -Zerfall Beim β^- zerfall zerfällt ein Neutron unter entstehung eines electrons und eines Antineutrinos in ein Proton



- Electroneneinfang Beim Elektroneinfang nimmt ein kern ein freies Elektron auf und wandelt unter entstehung eines Neutrinos ein Proton in ein Neutron um



- Wo auf der Nuklidkarte findet man β^+ bzw. β^- Strahler? β^+ Findet man bei Kernen mit einer Höheren Protonenzahl Z als ihr Stabiler kern und β^- bei Kernen mit einer nidrigeren Protonenzahl


 Images/1280px-Nuklidkarte_Segre.svg.png

Abbildung 1: Nuklidkarte

- Zerfall von ^{22}Na ^{22}Na Zerfällt über β^+ zerfall in das Stabile element ^{22}Ne bei einer Energieemission von 2.842MeV. Es ist ein standard Tracer der in der Medizin genutzt wird. Es besitzt eine halbwertszeit von 2 Jahren und 220 Tagen.

4. Paarvernichtung

- Unter welchen Vorraussetzungen kommt es zur Annihilation? Es wird ein Positron mit geringer Kinetischer Energie in Materie benötigt welches dann mit einem Elektron ein Positronium Atom bilden kann und im Fall das der Spin des Positrons dem des Elektrons entgegengesetzt ist zerstrahlen beide.
- Welchen einfalls hat die kinetische energie des Positrons auf die Annihilation? Je mehr Kinetische energie das Positron einbringt, desto stärker weilchen die austrittswinkel von 180° ab. Diese abweichung lässt sich beschreiben über

$$\tan(\theta) = \frac{p_T}{m_e c}$$

Wobei θ die abweichung von 180° und p_T die transversalkomponente des Positronium Impulses gegenüber der Emissionsrichtung angibt

- Welchen Einfluss haben die Restenergien bzw. -impulse auf die entstehenden γ -Quanten? Die Restenergien und impulse werden auf die entstehenden gamma quanten aufgeteilt und ihnen übertragen

5. Szintillatoren und Photomultiplier

- Was sind die Vor- und Nachteile von anorganischen Szintillationsdetektoren? Vorteile:
 - Schnelle ansprechzeit (einige ns)
 - Sensitiv auf deponierte Energie
 - (Herstellung und Betrieb unkompliziert)

Nachteile:

- Empfindlich gegenüber Magnetfeldern
-
- Wann spricht man von Fluoreszenz und wann von Phosphoreszenz? Fluoreszenz ist die emission eines Photons mit größerer oder gleicher wellenlänge innerhalb von wenigen Nanosekunden Phosphoreszenz hingegen kommen die entstehenden e^- zuerst in einen metastabilen zustand und werden erst nach einigen minuten detektiert
- Warum ist es nötig den Photonmultiplier abzuschirmen?

3 Versuchsdurchführung

Messaufträge:

1. Vorverstärkersignal am Oszilloskop. Detektoren und Hochspannung anschließen, Quelle in der Mitte der Detektorfläche platzieren. Signal skizzieren.
2. TFAs einbauen und das Gaussignal am Oszilloskop betrachten
3. CDDs einbauen und die nulldurchgänge am Oszilloskop untersuchen, verschiedene Einstellungen des CFD testen, Einfluss auf die Zählrate beobachten
4. Ortsauflösung bestimmen, Lage der Quelle bezüglich der Line of Response ändern, dazu Quelle auf Wagen legen, Wagen mit fester Schrittweite verschieben im vom Detektor abgedeckten Bereich, Anzahl der Koinzidenzen in 60s Messbereich messen, insgesamt 20 Messwerte
5. Messen der Zählraten auf X-Achse -i Y-Achse und dann diagonal
6. Winkelabhängigkeit: CFD so einstellen, dass nur die 511 keV Linien betrachtet werden, Winkelbereich -5° - 5° in 0.5° Schritten messen. Danach 511 keV auf dem 1ten Detektor messen und 1275 keV Linie auf dem 2ten Detektor messen. Aufgrund der mittleren Lebensdauer von ^{22}Ne von 4pikoSekunden und der hohen Wahrscheinlichkeit eines angeregten Kerns ist wahrscheinlich keine signifikante Reduktion der Zählrate zu erwarten

4 Messwerte

5 Auswertung

- Höheres Signal 1275er Linie, niedrigeres 511keV
- Signalthöhe -i Signalstärke/Energie, Signalbreite -i TFA bedingt / FWHM
- TFA -i Gausskurve -i CFD nulldurchgänge -i Coincidence Counter Logic1/0
-

5.1 Signale Am Oszilloskop

Im ersten Abschnitt der Auswertung befassen wir uns mit der Signalverarbeitung und den verschiedenen Schritten, in dem wir die verschiedenen Ausgangssignale der elektronischen Signalverarbeiter am Oszilloskop betrachten.

5.1.1 Szintillator und Vorverstärker

Folgende Graphik zeigt das Signal direkt nach der Szintillatorschaltung, bestehend aus dem Szintillator selbst, dem Photomultiplier und dem Vorverstärker.

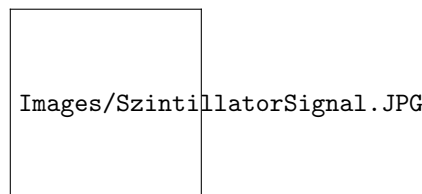


Abbildung 2: Szintillator Signal

Obwohl man nach physikalisch einen negativen Spannungsimpuls erwarten würde ist dieses Signal jedoch positiv, dies ist für die Messung jedoch vollkommen unerheblich und ist lediglich durch die Wahl der Vorverstärkers bestimmt. Die Höhe des Peaks (hier ca. 390mV) ist dabei direkt proportional zur Energie des gemessenen Ereignisses. Die Breite des Peaks (hier ca. $200\mu\text{s}$) entsteht hierbei hauptsächlich durch das Entladen von Kapazitäten, welche im Vorverstärker verbaut sind.

5.1.2 Timing Filter Amplifier

Das folgende Signal ist der Ausgang des TFA bei Eingang des obigen Signals der Szintillatorschaltung.

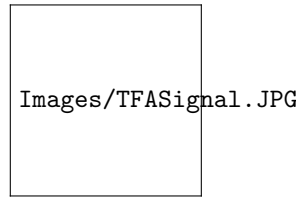


Abbildung 3: TFA Signal

Auch hier fällt direkt auf, dass die Polarität des Spannungsimpulses gewechselt hat, auch dies ist für die Auswertung irrelevant und nur durch die Wahl des TFA bestimmt.

Das Signal wird durch den TFA in seinem Informationsgehalt kaum beeinflusst, er dient lediglich der Aufbereitung für die Verarbeitung durch den CFD. Die Höhe des Peaks (hier ca. 4,85V) und Breite des Signals (hier ca. 1s) tragen dabei die selben Informationen.

5.1.3 Constant Fraction Discriminator

Nun kommen wir zum ersten auswertenden Element, die folgende Signale sind sowohl der Analoge- als auch der Digitale des CFD.

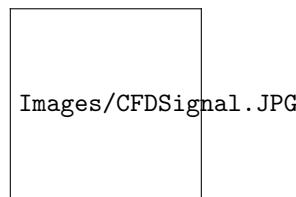


Abbildung 4: CFD Signal, Analog(Gelb) Digital(Blau)

Das analoge Signal trägt nun nicht länger unsere Informationen, es dient an dieser Stelle lediglich der Veranschaulichung des Prinzips des CFD, da man deutlich erkennt, dass dieser bei Nulldurchgang des Verarbeiteten Signals ein Logisches Signal von 0.8V bzw. Logisch 1 emittiert, welches für 1s bestehen bleibt. Die Signalthöhe ist dabei eigentlich egal, da uns hierbei nur dessen Logisches Äquivalent interessiert, die Signalzeit hingegen ist äußerst interessant, da diese unseren Toleranzbereich definiert indem 2 Logische Signale noch als koinzident anzusehen sind. Welche Signale überhaupt einen Logischen Output erzeugen lässt sich über die Obere- und Untere Schwelle einstellen, durch die Signale mit Höhen unter oder über den Grenzwerten verworfen werden. Diese Einstellungen sind notwendig um sowohl schwaches Hintergrundrauschen unterhalb der unteren Schwelle zu verwerfen, als auch die 1275keV Linie zu verwerfen, da für die gewünschten Zählraten nur Teilchen mit Energien um 511keV gemessen werden sollen.

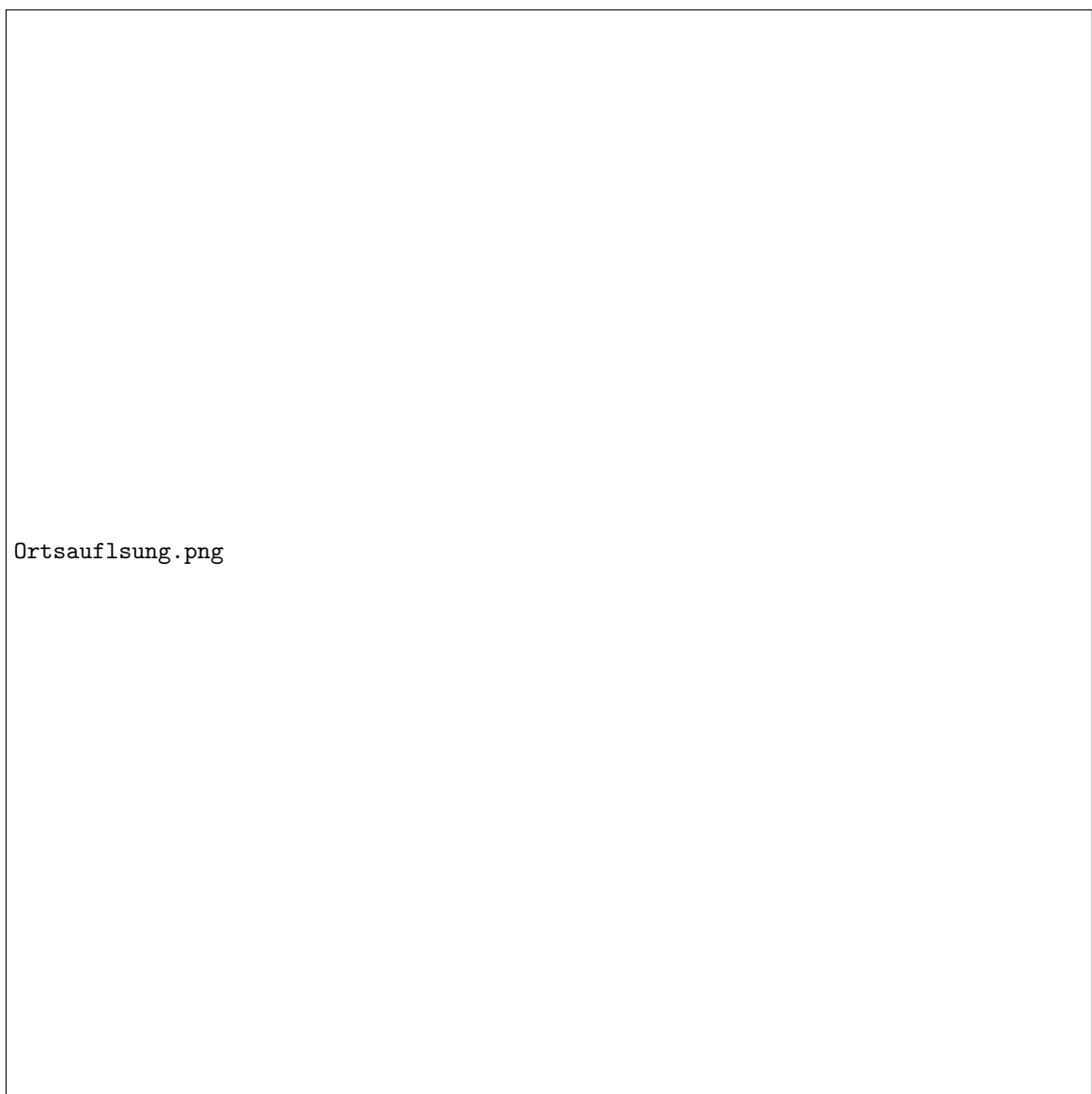
5.1.4 Zusammenfassung

Um den oben Dargestellten Prozess noch einmal kompakt zusammenzufassen:

- Der Szintillator liefert einen Peak proportional zur Teilchenenergie des Detektierten Teilchens
- Im TFA wird das Signal weiter aufbereitet und verstärkt
- Der CFD bestimmt ob es sich um einen zulässigen Peak handelt und emittiert ein entsprechendes Logisches Signal

5.2 Bestimmung der Ortsauflösung

Um nun die Ortsauflösung unseres Aufbaus zu bestimmen wurde die Anzahl der detektierten Ereignisse in 60 Sekunden für verschiedene Verschiebungen der Quelle relativ zum Aufbau aufgetragen. Die daraus resultierende Verteilung wird gut genähert durch eine Gaußkurve wie im folgenden Bild dargestellt wird:



Ortsauflsung.png

5.3 Auswertung des PET-Scans

5.4 Analyse der Winkelabhängigkeit

6 Diskussion