

Uniwersytet Jagielloński
Instytut Fizyki
im. Mariana Smoluchowskiego
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Arkadiusz Janas

**Synteza scyntylatorów polimerowych domieszkowanych ciężkimi
atomami**

Praca wykonana w zakładzie Fizyki jądrowej
pod kierunkiem
prof. dr hab. Pawła Moskala



Kraków 2013

Podziękowania

Pragnę złożyć podziękowania:

Panu Prof. dr hab. Pawłowi Moskalowi
za wskazówki i pomoc przy realizowaniu pracy.

Panu Dr Andrzejowi Kochanowskiemu
wraz z pracownikami Zakładu Technologii Chemicznej
za miłą atmosferę i pomoc w przeprowadzaniu syntez.

Spis treści

1.0 Wstęp.....	4
Część teoretyczna.....	4
2.0 Oddziaływanie promieniowania gamma z materią.....	4
2.1 Efekt fotoelektryczny.....	4
2.2 Zjawisko Comptona.....	5
2.3 Tworzenie par elektron - pozyton.....	6
2.4 Rozpad β^+ - powstawanie dwóch kwantów gamma.....	6
3.0 Tworzenie światła przez molekuly - Diagram Jabłońskiego.....	6
4.0 Scyntylatory nieorganiczne i organiczne.....	7
4.1 Zasada działania licznika scyntylacyjnego.....	8
4.2 Wprowadzenie ciężkich atomów.....	9
4.3 Polimeryzacja rodnikowa w masie.....	10
5.0 Wykorzystanie scyntylatorów polimerowych w praktyce - Pozytonowy tomograf emisyjny.....	10
Część Doświadczalna.....	11
6.0 Spis użytego sprzętu i odczynników.....	11
6.1 Polimeryzacja winylotoluenu w masie - przebieg syntezy.....	12
6.2 Badania otrzymanych produktów.....	12
Wyniki.....	13
7.0 Opis właściwości dla otrzymanych próbek.....	13
7.1 Wydajność zsyntetyzowanych scyntylatorów.....	14
7.2 Wnioski.....	16
Podsumowanie.....	17
Bibliografia.....	17

1.0 Wstęp.

Celem niniejszej pracy jest wprowadzenie ciężkich atomów do scyntylatorów polimerowych w celu maksymalnego zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia efektu fotoelektrycznego co wiąże się z zwiększeniem wydajności świetlnej scyntylatora a tym samym możliwością detekcji promieniowania jonizującego. Synteza polega na sporządzeniu roztworów o odpowiedniej ilości monomeru, inicjatora oraz związków zawierających ciężkie atomy w tym wypadku jest są to atomy ołowiu w postaci dimetakrylanu ołowiu. Przygotowany roztwór polimeryzuje poprzez polimeryzację rodnikową w masie. Scyntylatory polimerowe są najczęściej używane do celów diagnostycznych w pozytonowej emisyjnej tomografii komputerowej.

Część teoretyczna

2.0 Oddziaływanie promieniowania gamma z materią.

Promieniowanie gamma jest jednym z trzech pozostałych rodzajów promieniowania jądrowego jakimi są promieniowanie α (jądra ${}^4_2\text{He}$), promieniowanie β (strumień elektronów) oraz promieniowanie gamma którym są fotony z przedziału długości fali od około $10^{-12} - 10^{-16}$ m. co wiąże się z niesieniem energii od kilku keV do kilku MeV. Promieniowanie to jest przenikliwe i jonizujące, a dłuższa ekspozycja na nie jest szkodliwa dla organizmów żywych.

2.1 Efekt fotoelektryczny

W 1887 roku niemiecki fizyk Heinrich Rudolf Hertz zauważył, że iskra w iskrowniki znacznie częściej występuje, gdy ten jest wystawiony na działanie światła. Zjawisko to zostało nazwane efektem fotoelektrycznym i polega na tym, iż energia padającego kwantu promieniowania elektromagnetycznego jest w całości przekazywana elektronowi co pokazuje równanie :

$$h\nu = E_K + E_B + \varphi \quad (1)$$

gdzie :

$h\nu$ - jest energią padającego kwantu promieniowania elektromagnetycznego

E_K - energią kinetyczną wybitego elektronu

E_B - energią wiązania elektronu w atomie

φ - pracą wyjścia.

Prawdopodobieństwo zajścia efektu fotoelektrycznego bardzo silnie od liczby atomowej Z absorbenta bo aż z piątą jego potęgą natomiast jest odwrotnie proporcjonalne do padającej energii bo aż z trzecią jej potęgą. Występują jednak odstępstwa od tej reguły tzn. jeżeli padająca energia osiągnie wartość energii wiązania elektronów na danej orbicie to obserwujemy znaczny wzrost prawdopodobieństwa procesu. Energia przy których zachodzi to zjawisko nazywamy krawędzią absorpcji.

2.2 Zjawisko Comptona

Kwant padającego promieniowania elektromagnetycznego nie musi zawsze przekazać całej swojej energii napotkanemu elektronowi, może zdarzyć się tak, że część jego energii zostanie przekazana elektronowi, natomiast sam kwant będzie dalej propagował się przez materię ale już ze zmniejszoną energią i pod innym kątem. Proces ten nosi nazwę Zjawiska Comptona i polega na nieelastycznym rozpraszaniu fotonów na swobodnych elektronach. Jako, że padające promieniowanie jest wysokoenergetyczne to też możemy przyjąć, że wszystkie elektrony w atomie są swobodne, tak więc prawdopodobieństwo zajścia tego procesu jest proporcjonalne do liczby atomowej Z absorbenta. Energia rozproszonego elektronu wynosi:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)}$$
$$\alpha = \frac{h\nu}{m_0 c^2} \quad (2)$$

gdzie :

$h\nu'$ - jest energią rozproszonego fotonu

$h\nu$ - energią padającego fotonu

m_0 - masa spoczynkowa elektronu

c - prędkość światła

θ - kąt pomiędzy kierunkiem padania pierwotnego fotonu a kierunkiem fotonu po rozproszeniu.

Natomiast energia elektronu odrzutu wynosi:

$$E_K = h\nu \frac{\alpha(1 - \cos \theta)}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \quad (3)$$

Z tych wzorów wynika, że największy przekaz energii jest dla kąta padania wynoszącego 180 stopni.

2.3 Tworzenie par elektron - pozyton

Warunkiem koniecznym do zajścia tego procesu jest aby kwant padającego promieniowania gamma miał energię większą od podwojonej energii spoczynkowej elektronu która wynosi 1.022 MeV. Kolejnym warunkiem jest obecność innego obiektu, którym zazwyczaj jest jądro atomowe. Wytworzony w tym procesie pozyton bardzo szybko anihiluje z napotkanym elektronem emitując dwa lub trzy kwanty gamma.

2.4 Rozpad β^+ - powstawanie dwóch kwantów gamma

Rozpad ten polega na zamianie protonu w neutron czego konsekwencją jest zmniejszenie liczby atomowej Z o jeden, natomiast liczba masowa pozostaje bez zmian. W rozpadzie tym emitowane jest neutrino elektronowe oraz pozyton. Reakcje te przedstawiają się następująco:



na poziomie jądrowym



na poziomie nukleonowym

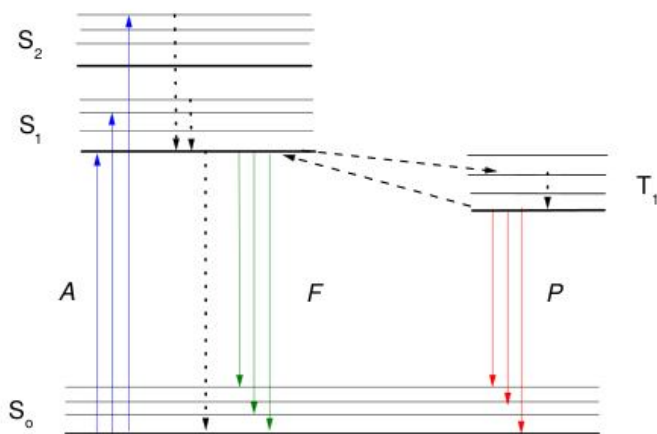
Wyemitowany pozyton po zdeponowaniu swojej energii w materiale może napotkać elektron z którym utworzy parę elektron - pozyton zwaną pozytonium. Taka para elektronu i pozytonu jeżeli posiada przeciwne spiny (prawdopodobieństwo wystąpienia takiej pary wynosi 99.7%) nosi nazwę orotopozytonium, rozpada się na dwa kwanty gamma biegnące w przeciwnych kierunkach i emitujące kwanty o energii 0.511 MeV z czasem życia wynoszącym około 120 ps. Istnieje możliwość wytworzenia pary o spinach równoległych, nazywanych wtedy orotopozytonium, które anihilując emituje trzy kwanty gamma, jednakże wystąpienie takie pary jest bardzo mało prawdopodobne.

3.0 Tworzenie światła przez molekuly - Diagram Jabłońskiego.

Diagram Jabłońskiego schematycznie ilustruje wzbudzenia elektronowe w molekułach i ich relaksację z czym wiąże się wyemitowanie światła.

Pierwszym etapem jest absorpcja energii i wzbudzenie ze stanu S_0 do jednego ze wzbudzonych stanów S_1 lub S_2 . Jeżeli cząstka wyląduje w któryś z tych stanów i jest to stan wzbudzony wibracyjnie to dochodzi do relaksacji wibracyjnej i przejścia do podstawowego stanu wibracyjnego wzbudzonego stanu elektronowego. Dalej cząstka może relaksować dwoma różnymi drogami, pierwsza z nich to relaksacja do podstawowego stanu

elektronowego S_0 co wiąże się z emisją fali elektromagnetycznej o energii równej różnicy stanu wzbudzonego i podstawowego i nosi nazwę fluorescencji. Drugą drogą jest przejście interkombinacyjne do stanu trypletowego, relaksacja wibracyjna oraz powrót do stanu podstawowego S_0 z emisją światła co nazywane jest fosforescencją. Procesy te są nazywane promienistymi gdyż ich efektem jest wyemitowanie kwantów promieniowania elektromagnetycznego, jednakże ze stanu trypletowego cząstka może ponownie ulec przejściu interkombinacyjnemu i zrelaksować bezpromieniście do stanu podstawowego S_0 . Proces fluorescencji zachodzi pomiędzy stanami o tej samej multipletowości w efekcie czego emisja światła zachodzi w czasie kilku nanosekund, natomiast fosforescencja zachodzi pomiędzy stanami o różnej multipletowości co w rezultacie daje czas przejść wynoszący około kilku mikrosekund.



Rys. 1 Diagram Jabłońskiego

4.0 Scyntylatory nieorganiczne i organiczne.

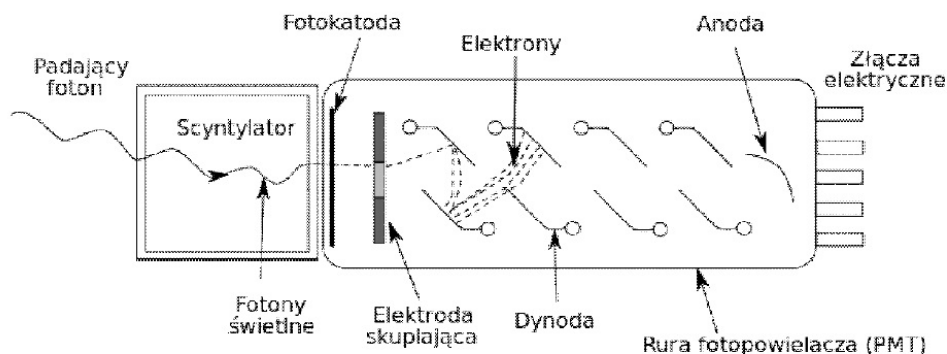
Ogólnie scyntylatory możemy podzielić na dwie grupy, nieorganiczne i organiczne. Pierwsze z nich to najczęściej monokryształy lub polikryształy halogenków metali alkalicznych lub sole metali przejściowych. Charakteryzują się one wysoką średnią liczbą atomową Z oraz dużą gęstością co wiąże się z wysokim prawdopodobieństwem wystąpienia efektu fotoelektrycznego. Mają one jednak pewne wady, a mianowicie czas narastania i zaniku sygnału wynosi do nawet do mikrosekund co wiąże się z słabą rozdzielczością czasową, a także ich ceną, która jest znacznie większa od scyntylatorów organicznych.

Do grupy scyntylatorów organicznych zaliczamy między innymi takie związki jak monokryształy antracenu, ciekłe związki organiczne oraz polimery, które są przedmiotem badań tej pracy. Substancje te wykazują znaczne lepsze rozdzielczości czasowe. Czasy narastania i zaniku sygnału wynoszą około kilku nanosekund co daje około tysiąckrotnie lepsze czasy niż w przypadku nieorganicznych kryształów. Łatwiej jest tworzyć pożądaną

formę tzn. można z nich formować dowolne kształty już na etapie produkcji, czy też kształtować otrzymany produkt w późniejszym etapie poprzez obrabianie mechaniczne. Ceny takich scyntylatorów są wielokrotnie niższe niż scyntylatorów nieorganicznych. Mają jednak też i wady. Otrzymywane światło z polimerowych scyntylatorów to fale elektromagnetyczne z zakresu światła widzialnego oraz ultrafioletowego. Aby nasz cały detektor pracował z dużą wydajnością i rejestrował padające promieniowanie potrzebne jest zestawienie z odpowiednim fotopowielaczem, który pracuje przy określonej długości fali. Zamiana promieniowania UV na światło widzialne odbywa się za pomocą tzn. "wevelenght shifter'a ". Wydajne przekazywanie energii gdy promieniowanie ultrafioletowe jest zamieniane na światło widzialne o takiej długości fali jaką produkuje scyntylator. Polimer wystawiony na ekspozycję promieniowania jądrowego czy też rentgenowskiego z czasem ulega degradacji, jego powierzchnia jest podatna na zanieczyszczenia, wystarczy pot z dłoni czy palców aby trwale uszkodzić powierzchnię, dlatego też przy pracy z takimi materiałami należy stosować odpowiednie rękawiczki.

4.1 Zasada działania licznika scyntylacyjnego.

Scyntylatorem nazywamy materiał który emituje światło widzialne lub w zakresie bliskim widzialnemu pod wpływem padającego promieniowania jonizującego (np. $X, \alpha, \beta, \gamma, n, p$) Padający kwant promieniowania gamma pada na scyntylator a następnie ulega całkowitemu pochłonięciu w wyniku zajścia efektu fotoelektrycznego w materiale scyntylatora. Następnie przyjmujemy, że elektron posiada dokładnie taką samą energię jak padający kwant promieniowania (energia wiązania jest dużo mniejsza od padającego promieniowania dlatego możemy przyjąć, że cała energia zostaje przekazana elektronowi w postaci energii kinetycznej). Elektron wędrując przez materiał scyntylatora wzbudza i jonizuje molekuly aż do całkowitego wytracenia energii. Następnie wzbudzone molekuly przechodzą do stanu podstawowego emitując światło widzialne lub bliskie widzialnemu w ilości proporcjonalnej do energii padającego kwantu gamma. Wyemitowane światło dociera do fotokatody, z której ponownie w wyniku zajścia efektu fotoelektrycznego dochodzi do wybicia elektronów, które przechodzą przez soczewkę skupiającą by dalej trafić na szereg dynod. Zadaniem każdej dynody jest wzmocnienie sygnału, tzn. padający foton na dynodę powoduje wybicie z niej N elektronów, następnie N elektronów pada na kolejną dynodę, gdzie każdy z nich wybija kolejne N elektronów, tworząc w ten sposób lawinowe wyładowanie. Na samym końcu sygnał dociera do złącz elektrycznych i dalej do układu zliczającego, który odpowiednio skalibrowany rejestruje przepływający fotoprąd w postaci proporcjonalnej do energii padającego na początku kwantu gamma.



Rys. 2 Schemat budowy scyntylatora

4.2 Wprowadzenie ciężkich atomów.

Polimer jest mieszaniną makrocząsteczek składających się głównie z wodoru, tlenu, węgla i azotu. Skład ten wiąże się z niską średnią atomową Z (która oscyluje pomiędzy 5 a 7) oraz z niewielką gęstością. Powoduje to, że wysokoenergetyczne promieniowanie oddziałuje z takim materiałem głównie w wyniku zajścia Zjawiska Comptona. Jak pamiętamy prawdopodobieństwo wystąpienia efektu fotoelektrycznego jest proporcjonalne z piątą potęgą liczby atomowej Z i odwrotnie proporcjonalne do energii padającego promieniowania, a że promieniowanie gamma i rentgenowskie jest wysokoenergetyczne to też prawdopodobieństwo wystąpienia efektu fotoelektrycznego jest stosunkowo niskie przy tak niewielkiej średniej liczbie atomowej. W celu zwiększenia tego prawdopodobieństwa wystąpienia efektu fotoelektrycznego domieszkuje się polimerowy scyntylator atomami o wysokiej liczbie atomowej ($Z > 50$) co ma na celu podniesienie średniej efektywnej liczby atomowej Z oraz gęstości materiału. Wprowadzane domieszki to najczęściej związki metali ciężkich lub organometalicznych takich jak rtęć, cyna, gadolin, iryd, bizmut i ołów. Ostatni z nich jest wykorzystywany w tej pracy. Wprowadzenie takich związków zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia efektu fotoelektrycznego a tym samym wykrywanie promieniowania wysokoenergetycznego, ale otrzymany materiał staje się mniej transparentny dla światła widzialnego. Domieszka staje się wygaszaczem fluorescencji co staje się powodem mniejszej wydajności takie scyntylatora. Problemem do rozwiązania zatem jest ilość i sposób wprowadzania ciężkiego atomu. Należy go wprowadzić na tyle dużo aby znacznie zwiększyć efektywną liczbę masową Z a z tym przekrój czynny na zajście efektu fotoelektrycznego oraz na tyle, aby otrzymany materiał był odpowiednio przezroczysty dla światła widzialnego co wiąże się z zwiększeniem wydajności świetlnej.

4.3 Polimeryzacja rodnikowa w masie.

Polimeryzacja rodnikowa polega na reakcji przyłączania wolnych rodników do podwójnego wiązania w cząsteczkach monomeru. Przebieg reakcji jest dzielony na trzy etapy:

Etap inicjacji polegający na wytworzeniu centrów aktywnych w których będzie zachodziła polimeryzacja, są to obojętne elektrycznie cząsteczki z niesparowanymi elektronami, które nazywane są rodnikami.

Etap propagacji, w którym dochodzi do gwałtownego łączenia się cząstek w większe zgrupowania.

Etap terminacji który polega na zakończeniu reakcji polimeryzacji poprzez wykorzystanie wszystkich centrów aktywnych, czyli rodników. Zakończenie wzrostu łańcucha może zajść poprzez reakcje rekombinacji, lub dysproporcjonowanie

Najwolniejszym z tych etapów jest etap inicjacji, natomiast proces terminacji zachodzi najszybciej.

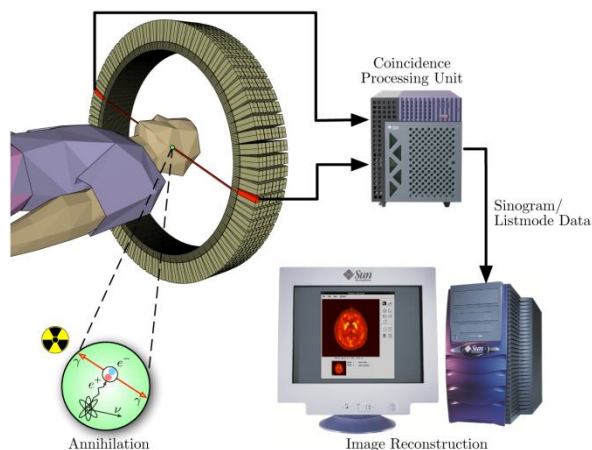
5.0 Wykorzystanie scyntylatorów polimerowych w praktyce - Pozytonowy tomograf emisyjny

Pozytonowa tomografia emisyjna zaliczana jest do metod diagnostyki nuklearnej i jest metodą inwazyjną. Polega ona na pomiarze różnic czasowych docierających kwantów gamma do scyntylatorów w celu wyznaczenia miejsca anihilacji pozytonu z elektronem.

Do ciała pacjenta na około 30 minut przed badaniem wprowadzany jest farmaceutyk, w którym jeden z atomów podstawiony jest radionuklidem, który ulega rozpadowi β^+

(najczęściej wykorzystywany jest izotop ^{18}F z czasem połowicznego zaniku wynoszącym 109.8 min.). Farmaceutyk dobiera się tak, aby gromadził się w tkance, która chcemy zbadać.

W miejscu w którym nagromadził się on dochodzi do wyemitowania pozytonu z rozpadu β^+ , pozyton deponuje swoją energię w tkance, a po napotkaniu elektronu anihiluje emitując dwa kwanty gamma o przeciwnych kierunkach. Pomiar różnic czasowych w zarejestrowanych scyntylatorach pozwala na wyznaczenie miejsca anihilacji, a tym samym duże nagromadzenie radiofarmaceutyka co najczęściej wiąże się ze zmianami patologicznymi w tkance. Jako, że polimerowe scyntylatory mają bardzo dobre rozdzielczości czasowe to jest to tak ważne, aby były do tego odpowiednio wydajne, gdyż w tym wypadku im dokładniejszy pomiar różnic czasowych, tym dokładniejsze miejsce anihilacji pozytonu z elektronem a tym samym dokładniejsze wyznaczenie obszaru chorej tkanki. W ten sposób polepszenie rozdzielczości czasowej wiąże się z uzyskaniem lepszej rozdzielczości przestrzennej.



Rys. 3 Schemat budowy układu pomiarowego w pozytonowej tomografii emisyjnej.

Część Doświadczalna

6.0 Spis użytego sprzętu i odczynników

Nazwa	Masa molowa [g/mol]	Wzór chemiczny
AIBN (inicjator)	164,21	
Dimetakrylan ołowiu ($Pb(MMA)_2$)	378.03	
Winylotoluen	118.18	
Argon	39.95	Ar

Tab. 1 Wykaz użytych odczynników laboratoryjnych

Użyty sprzęt laboratoryjny:

- waga analityczna firmy Radwag, AS 310/X o dokładności 0,1 mg
- suszarka laboratoryjna firmy BMT, model Venticell 55 Standard line
- szkło laboratoryjne: szpatułka, zlewki, szklane ampule, palnik Bunsena, naczynka wagowe

6.1 Polimeryzacja winylotoluenu w masie - przebieg syntezy

Substraty :

- winylotoluen
- dimetakrylan ołowiu ($Pb(MMA)_2$)
- inicjator AIBN

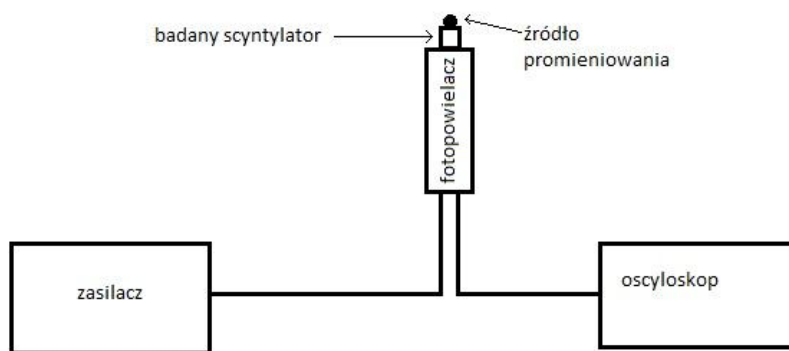
Wykonanie:

do każdej z zlewek odmierzone za pomocą pipety po 15 cm^3 winylotoluenu. Do każdej objętości dodano inicjatora AIBN w stosunku molowym 1 - 0.005 (co daje 0.0903 g. AIBN na 13.35 g. winylotoluenu). Każdy z roztworów mieszano do całkowitego rozpuszczenia się inicjatora, po czym do każdej zlewki dodano odpowiednie ilości dimetakrylanu ołowiu, aby uzyskać odpowiednio roztwory o zawartości 0.1%, 0,5%, 1%, 3% $Pb(MMA)_2$ (co daje odpowiednio 0.0267g, 0.1335g, 0.267g, 0.801g $Pb(MMA)_2$). Roztwory mieszano, aż do rozpuszczenia dodatku. Próbki o zawartości 1% i 3% dodatkowo umieszczono w łaźni ultradźwiękowej w celu rozbicia ewentualnych aglomeratów dodawanej domieszki, jednak ze względu na niewielką rozpuszczalność nie udało się rozpuścić całej domieszki w przypadku tych dwóch próbek.

Przygotowane roztwory przeniesiono ilościowo do ampuł, barbotowano argonem przez około jedną minutę w celu usunięcia powietrza. Ampuły zamknięto poprzez zatopienie ich węższych końców w płomieniu palnika bunsena. Tak przygotowane próbki włożono do suszarki gdzie prowadzono polimeryzację przez około 48 godzin w temperaturze 50°C . Po zakończeniu syntezy ampuły rozbito i wyciągnięto wytworzony materiał.

6.2 Badania otrzymanych produktów.

Każdą z otrzymanych próbek przycięto do takich samych rozmiarów, aby wyeliminować efekty związane z różnorodnością rozmiarów. Przycięte i oszlifowane scyntylatory owinięto taśmą teflonową i klejącą aby zminimalizować starty wytworzonego światła przez ścianki. Na okienko fotopowielacza naniesiono specjalny żel o podobnym współczynniku załamania światła co okienko fotopowielacza i badanych scyntylatorów w celu zapewnienia lepszego kontaktu. Tak przygotowane próbki zestawiono z układem pomiarowym, który zobrazowany jest na poniższym schemacie.



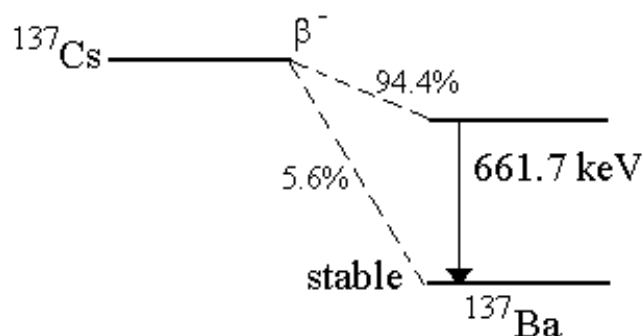
Rys. 4 schemat układu pomiarowego

Zasilacz firmy CAEN SY4527

Oscylloskop LeCroy waveRunner 64 Xi

Fotopowielacz Hamamatsu R4998

Źródło promieniowania gamma: ^{137}Cs (661.7 keV), które powstaje zgodnie z poniższym schematem:



Rys. 5 Schemat rozpadu izotopu ^{137}Cs

Metoda ta pozwala na zmierzenie ilości sygnałów, które są wynikiem oddziaływania promieniowania gamma z scyntylatorem. Wartością nadrzędną podczas przeprowadzanego pomiaru było zarejestrowanie dziesięciu tysięcy zdarzeń niezależnie od czasu trwania pomiaru.

Wyniki

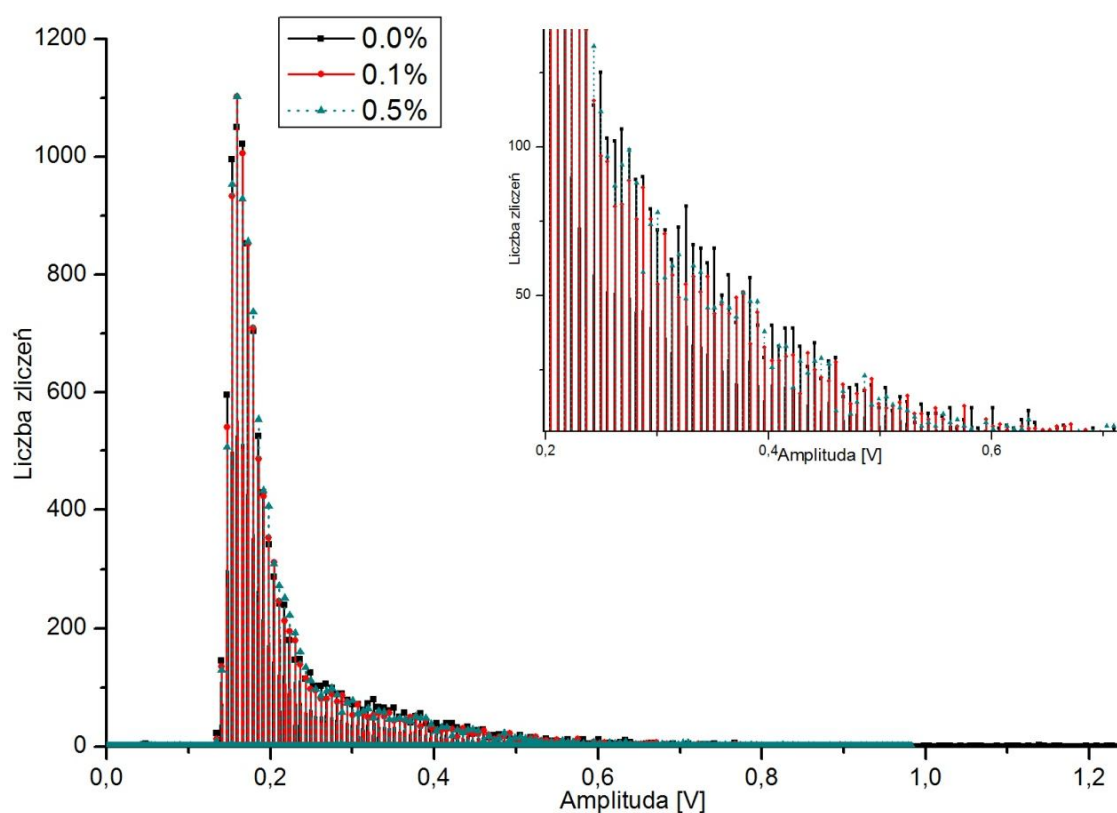
7.0 Opis właściwości dla otrzymanych próbek

Otrzymane próbki o zawartości 0%, 0.1% oraz 0.5% dimetakrylanu ołowiu charakteryzują się dobrą transparentnością dla światła widzialnego, niewielkimi pęcherzykami znajdującymi przy ścianach scyntylatorów, które powstały w końcowym etapie polimeryzacji i są efektem

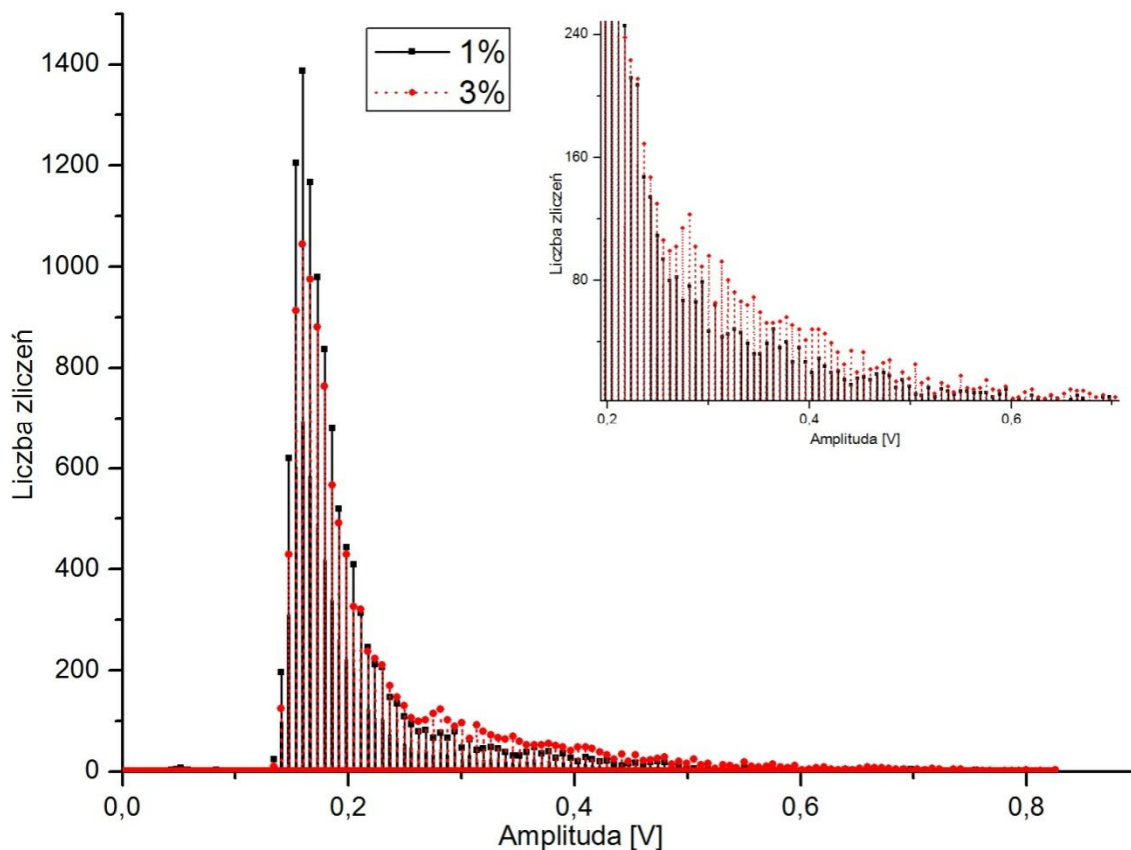
tzw. efektu żelu (Trommsdorffa) kiedy odbiór ciepła jest utrudniony z powodu wzrastającej lepkości. Próbki o zawartości 1% i 3% dimetakrylanu ołowiu silnie rozpraszają światło przez co ich transparentność dla światła widzialnego jest niewielka, liczba pęcherzyków jest zbliżona jak dla próbek 0%, 0.1% i 0.5% jednak ich wielkość jest znacznie większa, dodatkowo zaobserwowano na ściankach białą obręcz o grubości mniejszej niż pół milimetra. Spowodowane jest to najprawdopodobniej wykrystalizowaniem dimetakrylanu ołowiu na ściankach scyntylatora. Synteza odbywała się w szklanych probówkach, a szkło w skali mikro jest porowate i najprawdopodobniej ta własność spowodowała krystalizację dla większych ilości domieszki.

7.1 Wydajność zsyntetyzowanych scyntylatorów

Uzyskane widma są widmami pochodzącymi od efektu Comptona. Na osiach pionowych znajdują się liczby zdarzeń jakie zarejestrował fotopowielacz, natomiast na osiach poziomych znajdują się amplitudy sygnałów, które są proporcjonalne do zdeponowanej energii kwantów promieniowania. Próg oddzielający szumy od właściwych sygnałów wyniósł 70 [meV].

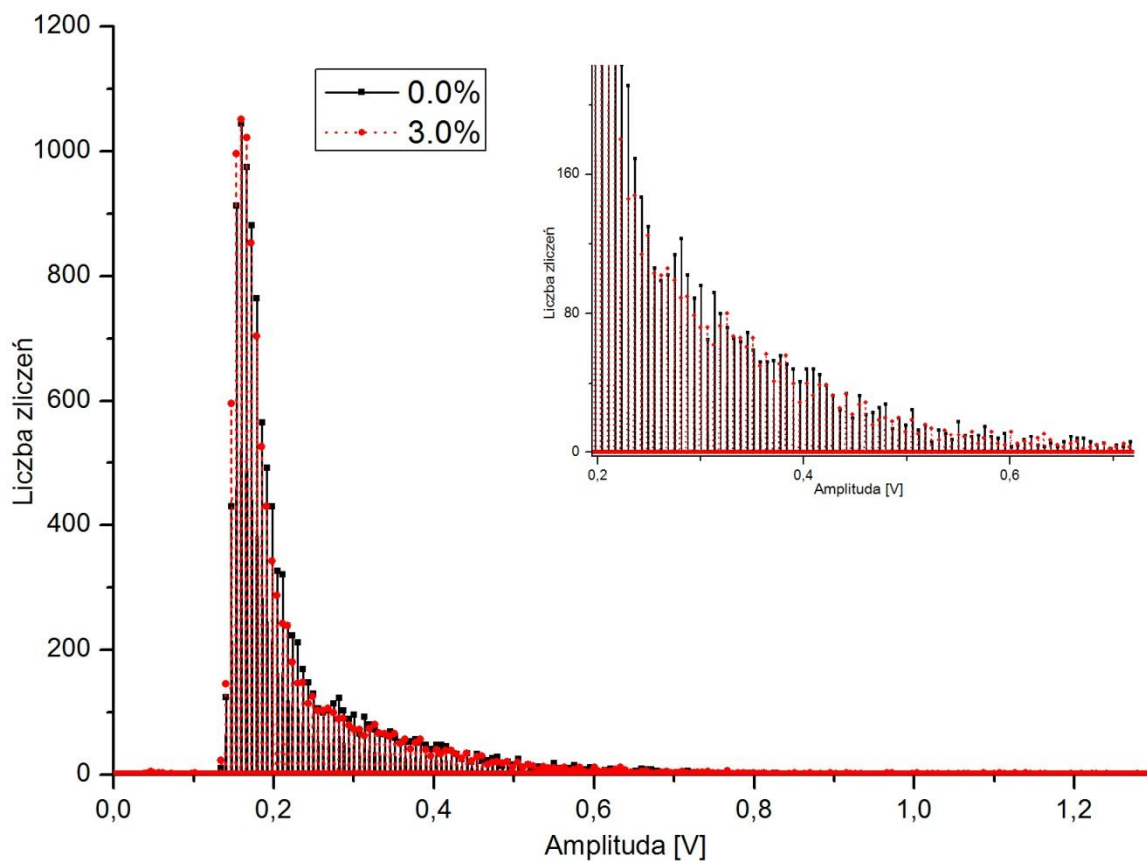


Rys. 6 Widmo dla próbek o zawartości 0.0%, 0.1% i 0.5% dimetakrylanu ołowiu wraz z powiększonym obszarem w zakresie 0.2-0.7 [V]



Rys. 7 Widmo dla próbek o zawartości 1% i 3% dimetakrylanu ołowiu wraz z powiększonym obszarem w zakresie 0.2-0.7 [V]

Widmo pierwsze pokazuje, że najwięcej światła, choć różnica jest niewielka, uzyskano dla próbki nie zawierającej dimetakrylanu ołowiu. Na drugim widmie widać, że próbka zawierająca 3% domieszki ołowiu wyraźnie więcej wytwarza światła, niż próbka zawierająca 1% dimetakrylanu ołowiu. Poniżej zestawiono ze sobą wydajność dla próbki zawierającej 0% i 3 % domieszki. Widmo to pokazuje, iż nieznacznie lepsza jest wydajność dla próbki nie zawierającej domieszki.



Rys. 8 Widmo dla próbek o zawartości 0.0% i 3% dimetakrylanu ołowiu wraz z powiększonym obszarem w zakresie 0.2-0.7 [V]

7.2 Wnioski

Spośród 4 próbek, które zawierały pewną ilość domieszki dimetakrylanu ołowiu najwyższą wydajność wykazała próbka zawierająca 3% tego związku. Ciekawym rezultatem okazał się fakt, iż próbka bez domieszki wykazała najwyższą wydajność świetlną spośród wszystkich zbadanych scyntylatorów. Wynik ten może być wytłumaczony poprzez fakt, iż próbki zawierające 1% i 3% miały niską transparentność dla światła widzialnego oraz silnie rozpraszały wytworzone promieniowanie co dało niższy wynik niż dla próbki bez domieszkowania.

Podsumowanie

Celem powyższej pracy było wprowadzenie do polimerowych scyntylatorów ciężkiego atomu, w tym przypadku ołowiu w celu zwiększenia średniej liczby atomowej, a tym samym zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia efektu fotoelektrycznego. W tym celu do roztworów winylotoluenu wraz z inicjatorem dodawano dimetakrylanu ołowiu w ilościach 0.1%, 0.5%, 1% i 3%. Wytworzone próbki otrzymano za pomocą polimeryzacji rodnikowej w masie. Następnie odpowiednio przycięto i przygotowano w celu zmierzenia ich wydajności świetlnej. Wynik nie do końca jest zgodny z przewidywaniami, ponieważ dodatek dimetakrylanu ołowiu nie zwiększa ilości zarejestrowanego światła przez detektor. Spowodowane jest to najprawdopodobniej rozpraszaniem i pochłanianiem światła przez scyntylator poprzez wykrywanie domieszki na ściankach scyntylatorów co obniżyło stężenie rozpuszczonej domieszki i wygenerowało więcej centrów rozpraszających światło.

Bibliografia

- [1] Jerzy Massalski "Fizyka dla inżynierów", wydanie czwarte, wydawnictwo WNT Warszawa, 488-494, 448-455, 515-518
- [2] Ewa Krystkowiak "Uwaga promieniowanie", Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2012, 46-47, 93-95
- [3] Łukasz Kapłon " Scyntylatory polimerowe z domieszkami pierwiastków o wysokiej liczbie atomowej ", PET UJ Report 5/2012
- [4]
https://brain.fuw.edu.pl/edu/Obrazowanie:Obrazowanie_Medyczne/Scyntygrafia,_Tomografia_Emisyjna_Pojedynczego_Fotonu,_Pozytonowa_Tomografia_Emisyjna, data dostępu: 04.07.2013
- [5] Quan Lin, Bai Yang, Jun Li, Xuesong Meng, Jiacong Shen "Synthesis, characterization and property studies of Pb21-containing optical resins"
- [6] <http://www.files.chem.vt.edu/chem-ed/quantum/jablonsk.html>, data dostępu: 26.06.2013
- [7] Jan Pielichowski, Andrzej Puszczynski „Chemia Polimerów”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Kraków 2004, 15-23
- [8] S. Rupiński „Technika PET jako jedna z metod medycyny nuklearnej”
<http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mfj/zal03/rupinski/RupinskiS.ppt>, data dostępu: 03.04.2013
- [9] <http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=550137>, data dostępu: 05.09.2013