



Liniowy model pozytonowego tomografu emisyjnego

Pozytonowa tomografia emisyjna pozwala określić rozkład przestrzenny stężenia substancji znakowanej β^+ radioaktywnym izotopem w organizmie. Wykorzystywana jest ona głównie w diagnostyce nowotworów. Zaletą tej metody jest nie tylko możliwość zlokalizowania miejsca, w którym znajduje się nowotwór, ale również możliwość oceny procesów biochemicznych zachodzących w organizmie.

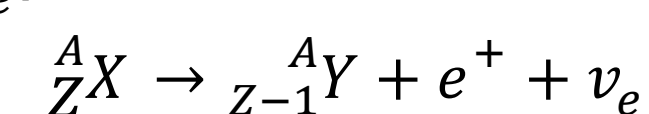
Badanie to polega na podaniu pacjentowi radiofarmaceutyku, najczęściej znakowanej fluorem-18 deoksyglukozy (^{18}FDG). Potrzeba stosowania glukozy w tej metodzie diagnostyki wynika z większego zapotrzebowania energetycznego w miejscu, gdzie znajduje się nowotwór, ponieważ choroba nowotworowa polega na szybkim wzroście chorych komórek. Zatem do rozpadów dochodzi głównie w obszarze, w którym znajduje się nowotwór. Stosowane radiofarmaceutyki zawierają izotopy promieniotwórcze, które rozpadają się emitując pozyton.



Rysunek 1: Urządzenie do diagnostyki metodą PET[1].

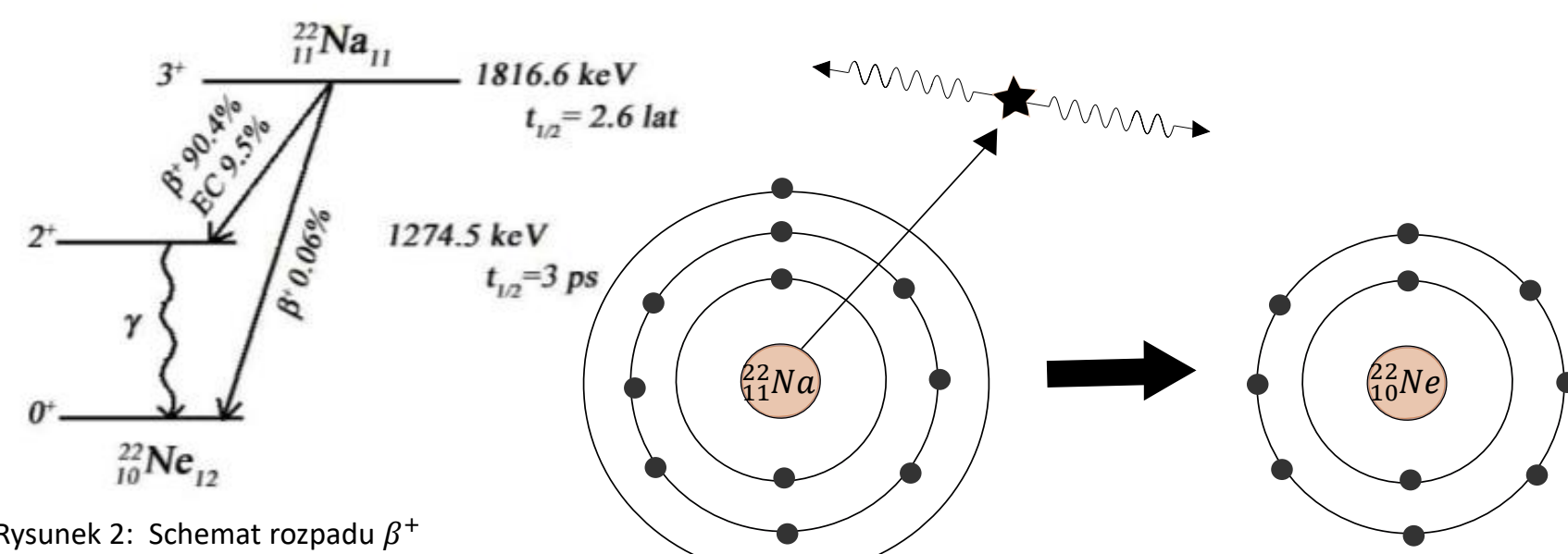
Rozpad β^+ i anihilacja

Rozpad β^+ polega na zamianie protonu w neutron, w którego wyniku powstaje pozyton e^+ oraz neutrino elektronowe ν_e :



Powstały pozyton przelatuje pewną skończoną odległość i w wyniku oddziaływania z elektronami oraz jądrami wytraca swoją energię i następnie anihiluje z elektronem. W wyniku tego procesu powstają dwa kwanty γ , energia każdego z nich równa jest masie spoczynkowej elektronu (0,511 MeV). Powstałe fotony wypromieniowywane są w przeciwnych kierunkach.

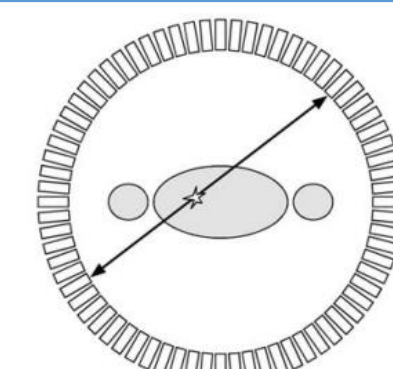
Źródło promieniotwórcze używane w ćwiczeniu - ${}^{22}_{11}Na$



Rysunek 2: Schemat rozpadu β^+ pierwiastka ${}^{22}_{11}Na$ [2].

Rysunek 3: Schemat rozpadu β^+ pierwiastka ${}^{22}_{11}Na$ z emisją pozytonu i następnie anihilacją.

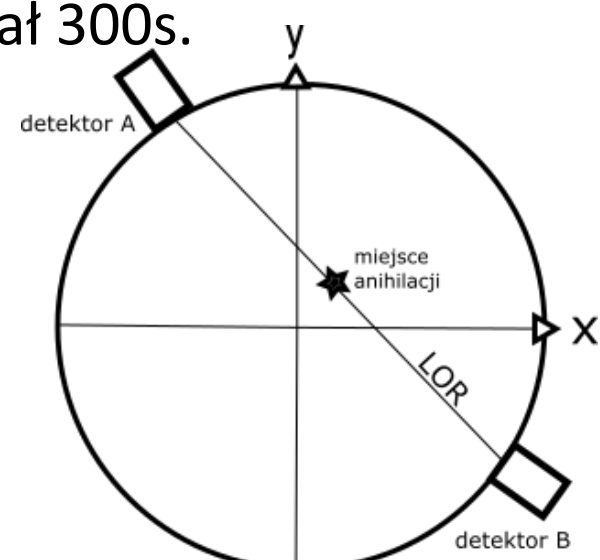
Względny kąt emisji kwantów gamma, wynoszący 180° , wykorzystywany jest do lokalizowania miejsca anihilacji. W łatwy sposób można wyznaczyć linię odpowiedzi, czyli LOR (line of response). Jest to linia łącząca detektory, które zarejestrowały koincydencję dwóch kwantów gamma. W tej metodzie uwzględniane są koincydencje rzeczywiste (rysunek 4), w której oba kwanty bez rozproszenia docierają do detektorów.



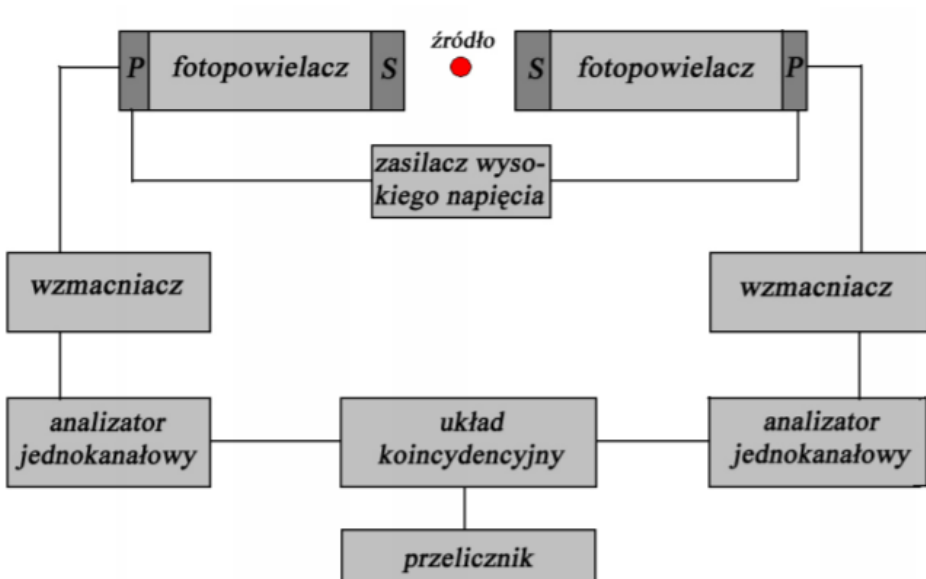
Rysunek 4: Koincydencja rzeczywista [3]

Metoda pomiaru

Układ pomiarowy (rysunek 5) składał się z dwóch detektorów scynylacyjnych, które zamocowane były w sposób umożliwiający obracanie ich po okręgu w środku, którego umieszczono było pudełko ze źródłem. Zdjęcie pudełka przedstawione jest na rysunku 9. Używanym źródłem był ${}^{22}_{11}Na$, jego rozpad przedstawiony jest na rysunkach 2 i 3. Sygnał z detektorów podawany był do układu elektronicznego, który zliczał zdarzenia będące w koincydencji rzeczywistej. Schemat tego układu i jego poszczególne elementy przedstawione są na rysunku 6. Pomiar wykonywano zmieniając położenie detektorów: pierwszy (A) z nich przestawiano co 30° , a drugi (B) ustawiano naprzeciwko i zmieniano jego położenie co 5° w dwie strony od punktu początkowego w celu znalezienia położenia, dla którego otrzymuje się maksymalną liczbę zliczeń koincydencji. Pomiar ilości zdarzeń w jednym ustawieniu trwał 300s.



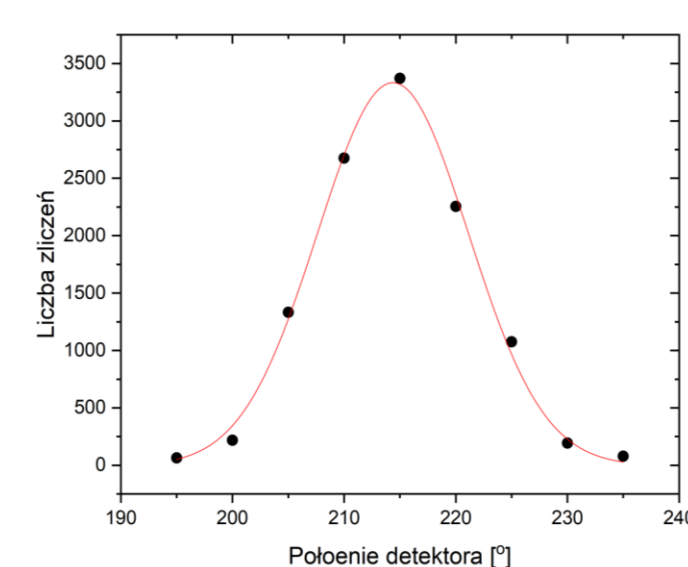
Rysunek 5: Schemat układu pomiarowego z detektorami.



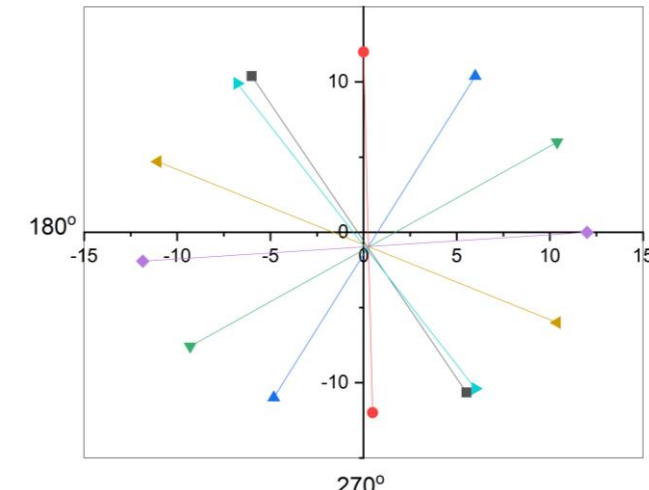
Rysunek 6: Schemat układu koincydencyjnego [2].

Wyniki i ich dyskusja

W doświadczeniu wyznaczono położenie źródła znajdującego się w pudełku. W tym celu do uzyskanych zależności liczby zliczeń od położenia jednego detektora, przy ustalonym położeniu drugiego, dopasowano rozkład Gaussa. Z wartości dopasowania wyznaczono miejsce, w którym występuje maksimum piku (rysunek 7). Następnie znając położenie detektora dla maksymalnej liczby zliczeń wyznaczono położenie detektorów w układzie kartezjańskim. W tym układzie wyznaczono linie odpowiedzi (LOR), a ich przecięcie określa położenie źródła (rysunek 8). Współrzędne tego miejsca wyznaczono licząc wartości średnie współrzędnych przecięć pojedynczych linii ze sobą. Wyznaczone oraz rzeczywiste położenie źródła przedstawione jest w tabeli 1. Na rysunku 9 przedstawione jest rzeczywiste położenie źródła w pudełku.



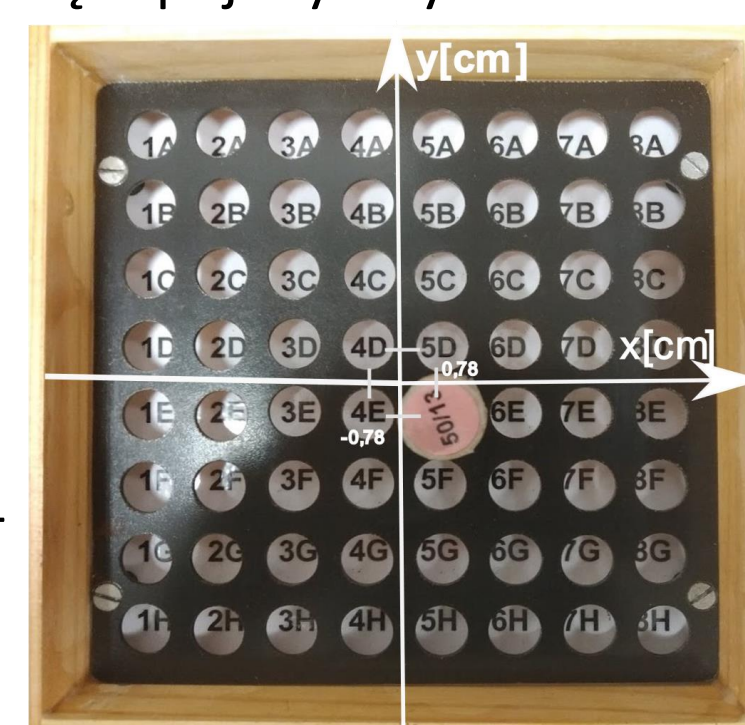
Rysunek 7: Zależność liczby zliczeń od położenia detektora z dopasowaną funkcją Gaussa.



Rysunek 8: Przecięcie linii LOR otrzymanych z różnych położeń detektorów.

Tabela 1: Położenia źródła – wyznaczone metodą PET oraz rzeczywiste.

Współrzędna	Wyznaczona [cm]	Rzeczywista [cm]
x	$0,2445 \pm 0,013$	$0,78 \pm 0,1$
y	$-0,791 \pm 0,056$	$-0,78 \pm 0,1$



Rysunek 9: Zdjęcie pudełka ze źródłem.

Podsumowanie

Wynik eksperymentu z liniowym modelem PET dla jednego źródła jest zbliżony do faktycznego położenia źródła. Współrzędna y jest zgodna w granicach niepewności pomiarowych z rzeczywistym położeniem. Niezgodność wyznaczonej współrzędnej x może wynikać z dodatkowych niepewności pomiarowych nie uwzględnianych przy analizie danych np. niepewność od przyjęcia detektora jako obiektu punktowego czy rozważania punktowego źródła, gdzie w rzeczywistości miały one skończone rozmiary.

Literatura

- [1] <http://www.novaglobalhealthcare.com/pet-scan.html>
- [2] E. Zcaicka - Liniowy model pozytonowego tomografu emisyjnego - praca magisterska
- [3] Michael E. Phelps, PhD - PET physics, instrumentation and scanners
- [4] D. Alfs *PET : czyli co antymateria ma wspólnego z medycyną „Neutrino”*, 2015, 30, 1-4