

Prezentacja praktyki – Splątanie Kwantowe

Maciej Kucab

Uniwersytet Jagielloński

30 VII 2021

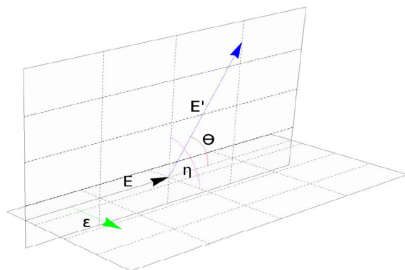
rozpad

Zajmujemy się rozpadem $\beta+$ sodu ^{22}Na na pozyton, neon ^{21}Ne w stanie wzbudzonym oraz neutrino. Pozyton łączy się z elektronem tworząc pozytronium. Interesuje nas parapozytronium, czyli taki stan pozytronium, który rozpada się na 2 kwanty gamma.

Splątanie kwantowe

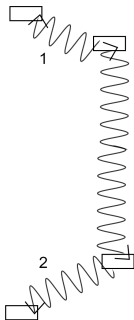
Splątanie kwantowe to zjawisko w którym informacja przekazywana jest z prędkością większą niż prędkość światła. W rozpadzie parapozytonium na 2 kwanty gamma objawić się może ono przy rejestrowaniu rozproszeń wtórnych. Aby sprawdzić, czy splątanie kwantowe rzeczywiście ma miejsce, badamy zależność kąta pomiędzy wektorami polaryzacji rozproszonych po obu stronach.

Splątanie kwantowe



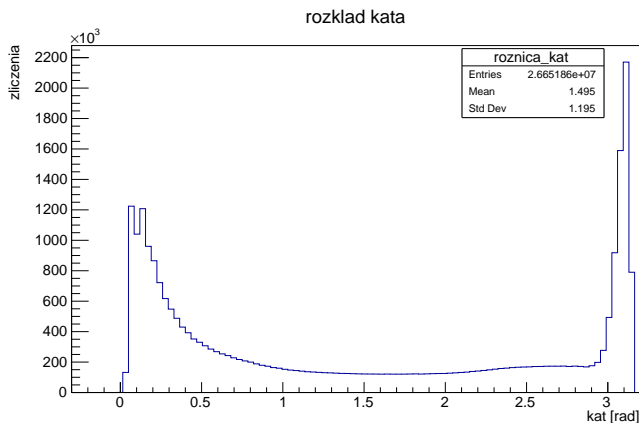
Obraz: Rysunek przedstawiający rozproszenie komptonowskie. Na rysunku kąt θ jest kątem rozproszenia, natomiast η jest kątem pomiędzy płaszczyzną polaryzacji a płaszczyzną padania. Ten kąt będzie nas szczególnie interesować.

Splątanie kwantowe



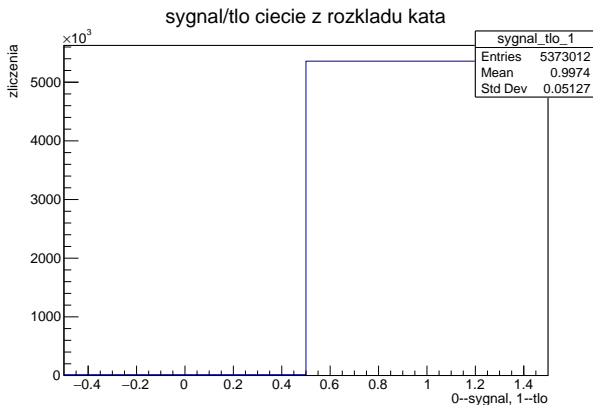
Obraz: Rysunek przedstawiający rozpraszanie na scyntylatorach.
Zdarzenia które nas interesują pod kątem analizy są oznaczone jako 1 i 2.

Rozkład kąta



Obraz: Rozkład kątowy wszystkich zdarzeń z symulacji. Z z.z. pędu wynika, że interesuje nas cięcie wokół prawej struktury. Ograniczenie: kąt $> 3.03 \text{ rad}$.

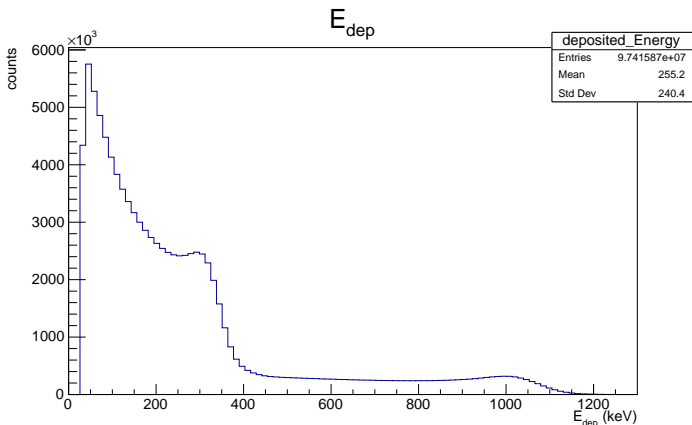
Stosunek sygnału do tła



Obraz: Histogram pokazujący ile jest tła względem sygnału.

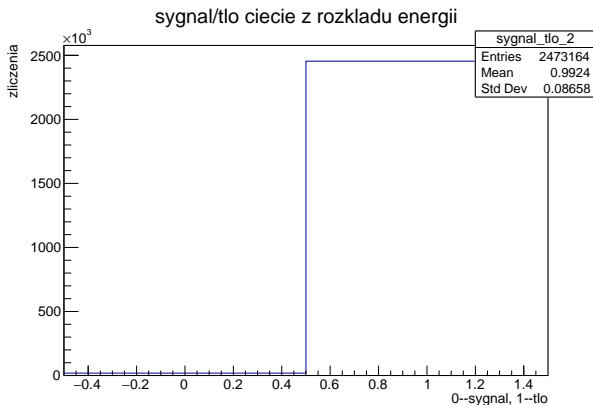
$$\frac{\text{sygnał}}{\text{tło}} = 0.00264, \quad \frac{\text{tło}}{\text{sygnał}} = 378.5$$

Rozkład energii zdeponowanej



Obraz: Histogram energii zdeponowanej dla symulacji monte carlo. Bardzo widoczne są oba zbrocza komptonowskie, co sugeruje pierwsze cięcie. Ograniczenie, $E_{mc} \in (200, 360) \text{ keV}$

Stosunek sygnału do tła



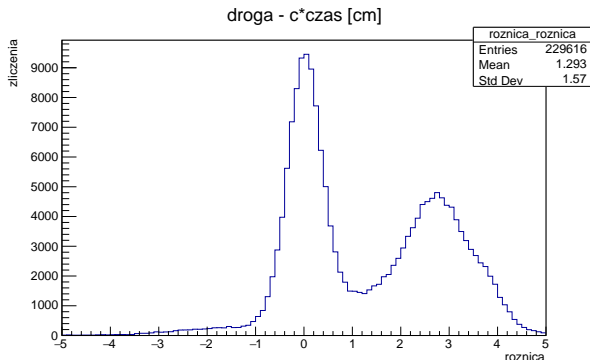
Obraz: Histogram pokazujący ile jest tła względem sygnału.

$$\frac{\text{sygnał}}{\text{tło}} = 0.0076, \quad \frac{\text{tło}}{\text{sygnał}} = 131.58.$$

Przyporządkowanie zdarzeń.

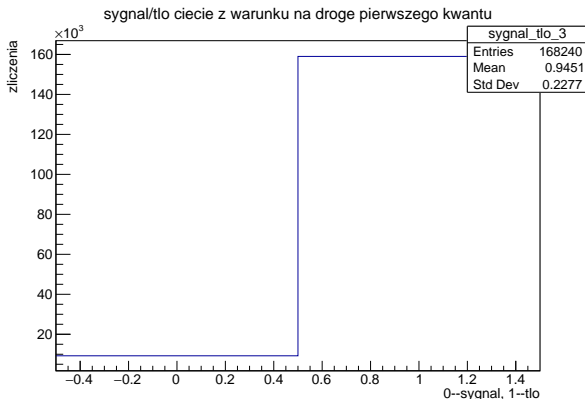
Z z.z. pędu jesteśmy w stanie zidentyfikować (na podstawie kąta) które fotony pochodzą z pierwotnego rozpadu. Aby zidentyfikować, czy pozostałe fotony pochodzą z rozproszenia wtórnego konstruujemy wektor, którego długość jest równa długości pomiędzy odpowiednimi paskami scyntylatora. Następnie sprawdzamy, czy długość tego wektora jest równa różnicy czasów pomiędzy uderzeniami w odpowiednie scyntylatory przemnożoną przez prędkość światła.

Rozkład różnicy opisaney drogi i czasu przemnożonego przez prędkość światła



Obraz: Rozkład różnicy opisaney w tytule slajdu. Struktura rozkładu sugeruje kolejne cięcia. Ograniczenie: Różnica $\in (-1, 1)$ cm

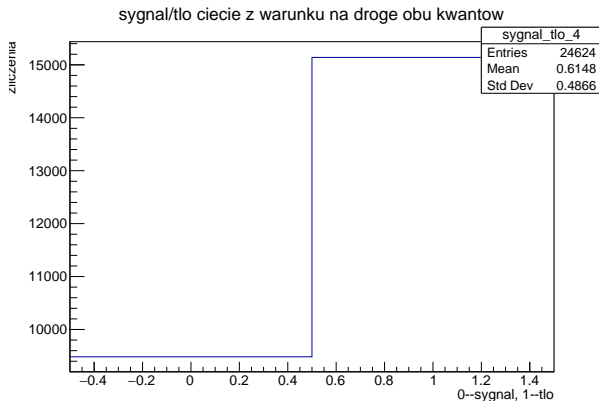
Stosunek sygnału do tła



Obraz: Histogram pokazujący ile jest tła względem sygnału po wymaganii, aby przynajmniej jeden foton był rozproszony.

$$\frac{\text{sygnał}}{\text{tło}} = 0.058, \quad \frac{\text{tło}}{\text{sygnał}} = 17.243$$

Stosunek sygnału do tła



Obraz: Histogram pokazujący ile jest tła względem sygnału po wymaganii, aby przynajmniej dwa fotony były rozproszone.

$$\frac{\text{sygnał}}{\text{tło}} = 0.626, \quad \frac{\text{tło}}{\text{sygnał}} = 1.596$$

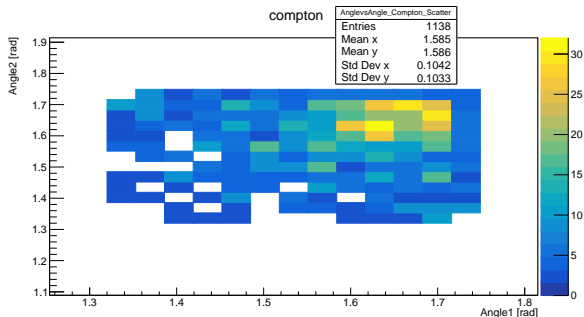
Ograniczenie liczby hitów oraz kątów

Aby nie tracić na statystyce, ograniczenie na liczbę hitów równą dokładnie 4 dodałem dopiero po wszystkich cięciach wymienionych powyżej.

Ponieważ matematyka mówi, że dla kąta rozproszenia około 82° mamy największe prawdopodobieństwo, że kąt pomiędzy płaszczyznami polaryzacji i rozproszenia jest 90° , to wokół tego kąta wykonuję cięcie.

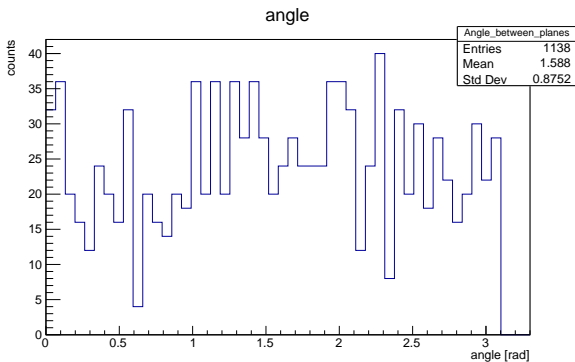
Oprócz tego sprawdziłem, czy dodatkowe ograniczenie na energie zdeponowaną fotonów wtórnych zwiększa czystość próbki.

Histogram 2d jednego kąta od drugiego



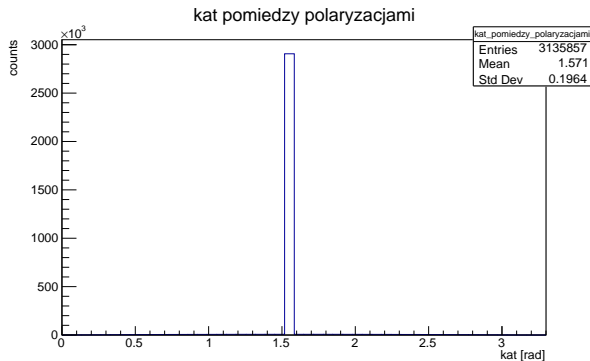
Obraz: Histogram 2d kąta pierwszego rozproszonego fotonu od kąta drugiego rozproszonego fotonu. Cięcie dla kątów $\in (1.33, 1.73)$ rad

Kąt polaryzacji



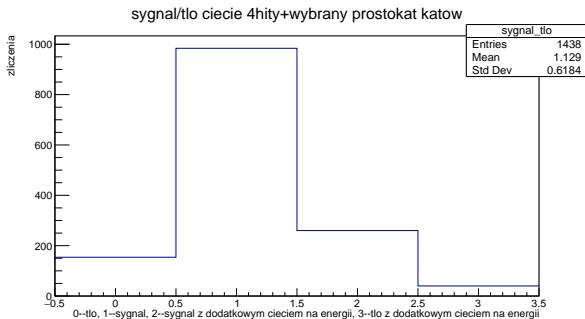
Obraz: Ostateczny histogram kąta polaryzacji

Sprawdzenie kąta polaryzacji



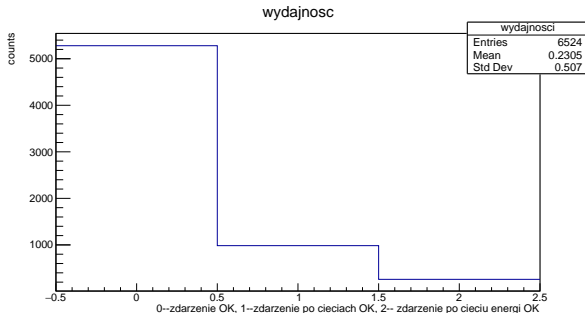
Obraz: sprawdzenie zmiennej polarizacji mc dla zdarzeń w których jest rozpad na dwie gammy

Stosunek sygnału do tła



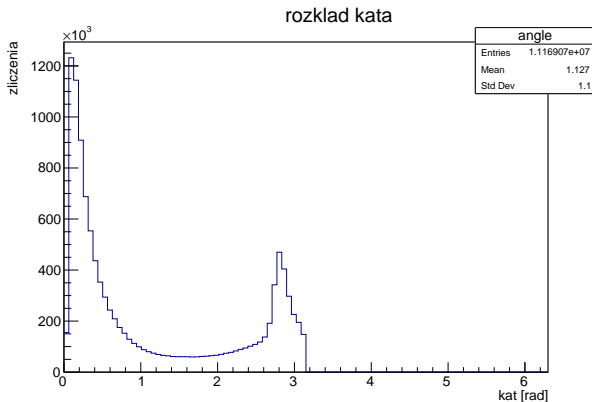
Obraz: Histogram pokazujący ile jest tła względem sygnału. Ponieważ przed końcowym cięciem na energii $\frac{sygnal}{tlo} = 6.39$, $\frac{tlo}{sygnal} = 0.156$ a po cięciu $\frac{sygnal}{tlo} = 6.5$, $\frac{tlo}{sygnal} = 0.154$ to różnicy praktycznie nie ma, natomiast spadek liczby zdarzeń jest odczuwalny. Dlatego nie ma histogramu 2d po cięciu na energii.

Wydajność



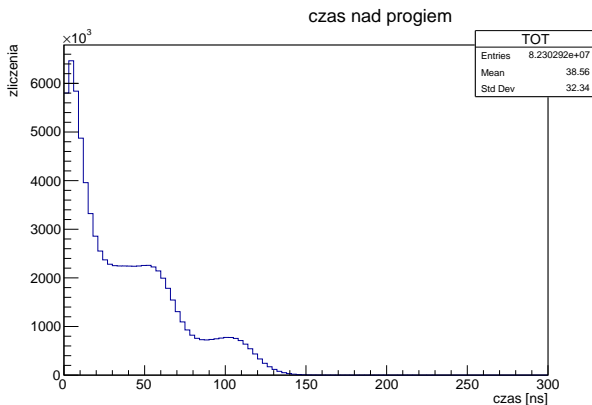
Obraz: Histogram wydajności, czyli ile sygnału zostało po moich obcięciach w stosunku do sygnału który był na początku. Bez cięcia na energii wtórnego fotonu ($> 90\text{keV}$) zostaje około 19% zdarzeń. Z cięciem zostaje około 5%

Rozkład kąta



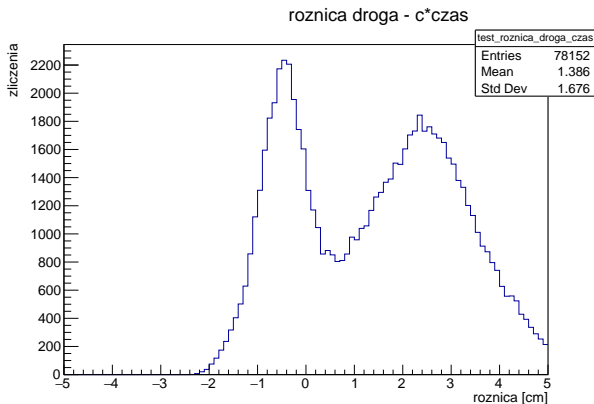
Obraz: rozkład kąta, który porównując do kąta z monte carlo ponownie sugeruje gdzie powinienem ciąć. Ograniczenie: $\text{kąt} > 2.6 \text{ rad}$

Rozkład TOT



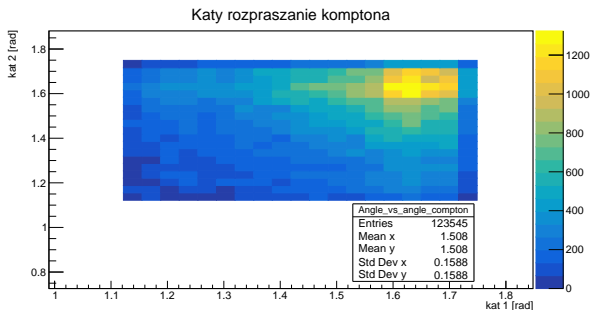
Obraz: rozkład TOT, który porównując do Energii z monte carlo sugeruje gdzie powinno się ciąć TOT. Ograniczenie tot $\in (25, 65)$ ns.

Rozkład różnicy drogi i czasu przemnożonego przez prędkość światła



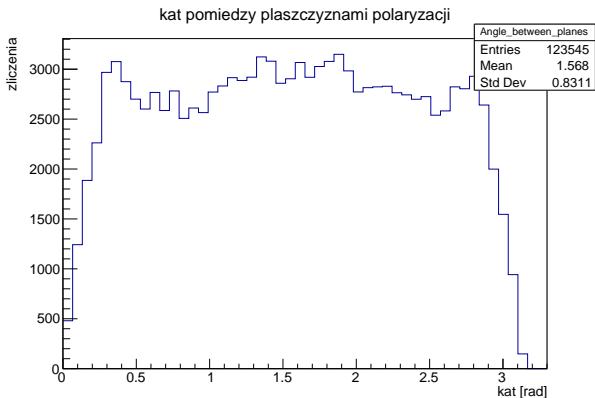
Obraz: Analogiczny do monte carlo rozkład różnicy opisaną w tytule.
Widać, w którym miejscu trzeba uciąć. Ograniczenie: różnica < 0.5 cm

Histogram 2D kąta



Obraz: Histogram 2d kąta rozproszenia pierwszego fotonu od kąta rozproszenia drugiego fotonu. Ograniczenie: kąty $\in (1.13, 1.73) \text{ rad}$.

Histogram kąta polaryzacji



Obraz: ostateczny rozkład kąta polaryzacji.

Podsumowanie

Ponieważ wszystkie struktury są zgodne z Monte Carlo sugeruje to poprawność w analizie danych z prawdziwego eksperymentu. Dodatkowo, ponieważ wykres kąta polaryzacji nie jest prostą linią, sugeruje to istnienie zależności pomiędzy polaryzacją jednego fotonu a drugiego, a taka zależność implikuje istnienie splątania kwantowego.

Koniec