

Temat: Kalorymetr do pomiaru fotonów i neutralnych pionów - LHCf, RHICf

Paweł Rzońca

20 lutego 2016

Wstęp

Projekt dotyczy symulacji działania kalorymetru próbkującego (scyntylator-absorber). W akceleratorach LHC oraz RHIC wykorzystuje się takie detektory do pomiaru energii i pozycji cząstek neutralnych (fotonów, neutronów, pionów) wyprodukowanych pod bardzo małymi kątami (forward detectors).

Budowa detektora

W projekcie należało zaimplementować detektor służący do pomiaru cząstek neutralnych. Kalorymetr sprawdzano dla fotonu, neutronu oraz pionu.

Jak pokazano na rysunku 1, detektor zbudowany jest z dwóch kalorymetrów w postaci wież: centralnej skierowanej wprost na wiązkę oraz bocznej (większej). Rola bocznej wieży polega na wykryciu cząstek, które zanim doleczą do detektora ulegną rozpadowi. Detektor umieszczony jest w odpowiednio dużej odległości od miejsca z którego wysyłamy cząstki (100 m), tak aby zarejestrować efekt rozpadu pionu w bocznej wieży.

Każda wieża zbudowana jest z naprzemiennie umieszczonych warstw scyntylator-wolfram. Dodatkowo w każdej wieży umieszczone są 4 warstwy krzemowych detektorów pozycjoczułych, których tutaj nie symulujemy. Grubości warstw scyntylatora oraz krzemowego detektora wynoszą 3 mm. Grubość jednej warstwy wolframu to dwie drogi radiacyjne (Źr. [2]). W głębszych częściach detektora, zgodnie z opisem (Źr. [1]) umieszczono po dwie warstwy wolframu. Zaimplementowany detektor przedstawiono na rysunku 2.

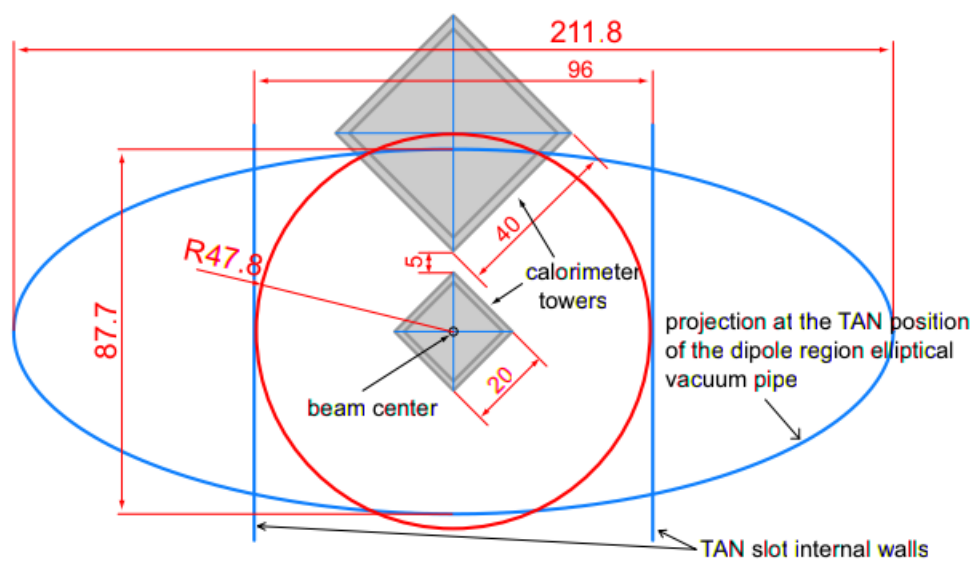
W programie podczas symulacji może wystąpić przejście wtórnej cząstki pomiędzy wieżami. W rzeczywistości wieże są odseparowane. Zdecydowano się symulować każdą z wież oddzielnie, tak, aby wyeliminować ten efekt. Dodatkowym atutem jest tutaj nieznaczące skrócenie czasu obliczeń oraz wyeliminowanie potrzeby implementacji dodatkowych elementów.

Symulację przeprowadzamy w każdym przypadku dla 1000 cząstek. Jest racjonalna wielkość, gdyż ze względu na duże energie wysyłanych cząstek czas obliczeń jest znaczny.

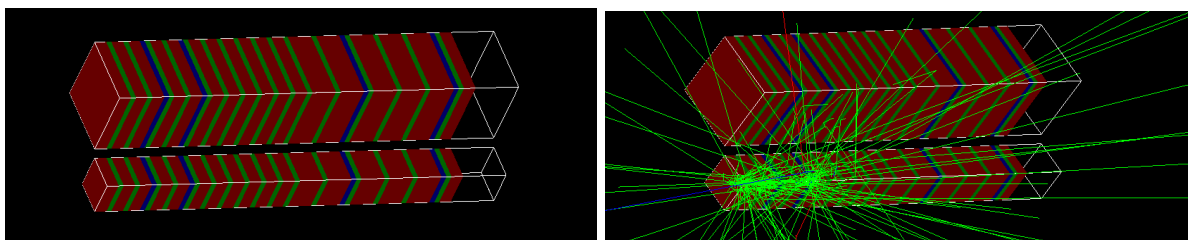
Wyniki

Na wykresach przedstawiono sumaryczną energię zdeponowaną w danej warstwie scyntylatora. W pierwszej kolejności wykonano symulacje dla każdej z cząstek (foton, neutron i pion π^0) przy zadanej energii 1 TeV. Wyniki dla obydwu wież przedstawiono na wykresach 3 (wieża centralna) oraz 4 (wieża boczna).

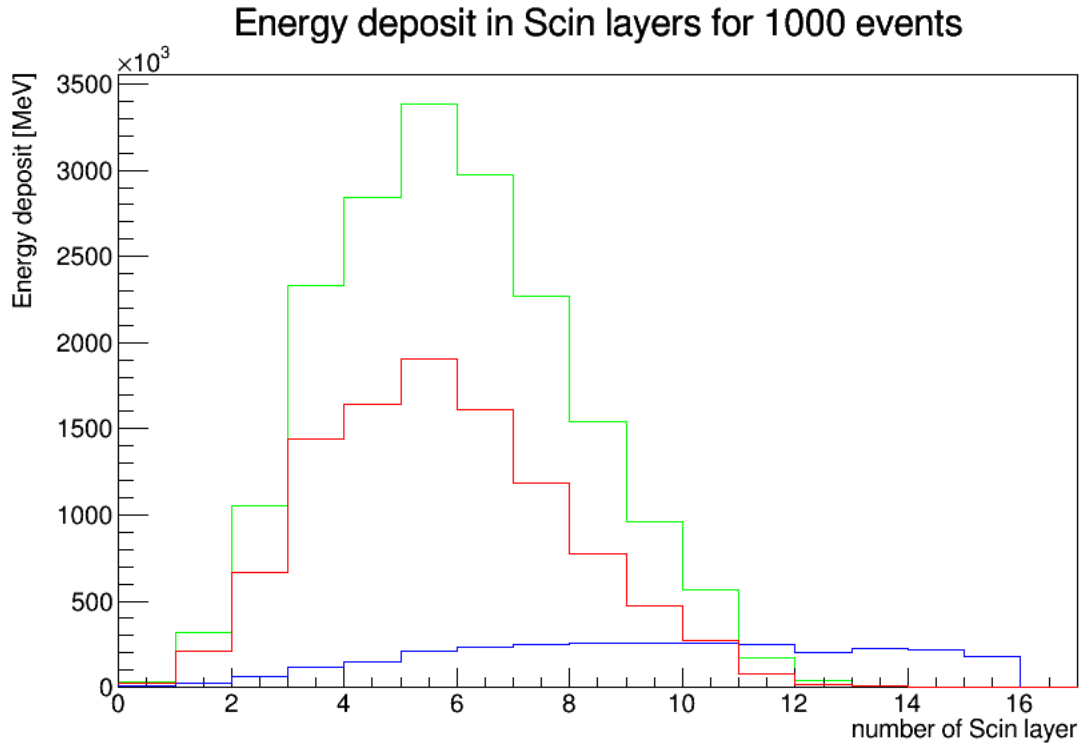
Przy symulacji fotonu i pionu dla centralnej wieży energia zostaje zdeponowana głównie w pierwszej części detektora. Można zauważyć iż energia zdeponowana przez pion jest niższa niż dla fotonu. W symulacji dzieje się tak prawdopodobnie dlatego, gdyż użyliśmy cząstek o tej samej energii, a pion podczas lotu rozpada się na dwa fotony i nie każdy z nich trafia w centralny detektor. Natomiast dla



Rysunek 1: Schemat przedstawiający wymiary detektora (w mm). Źródło [1], s. 27.



Rysunek 2: Rysunek przedstawiający wizualizację zaimplementowanej geometrii detektora. Po prawej przedstawiono obrazowo powstającą kaskadę w detektorze dla fotonu o energii 1 GeV.



Rysunek 3: Na wykresie przedstawiono zdeponowaną energię w wieży centralnej w kolejnych warstwach scyntylatora dla trzech cząstek: fotonu (kolor zielony), neutronu (kolor niebieski), pionu (kolor czerwony).

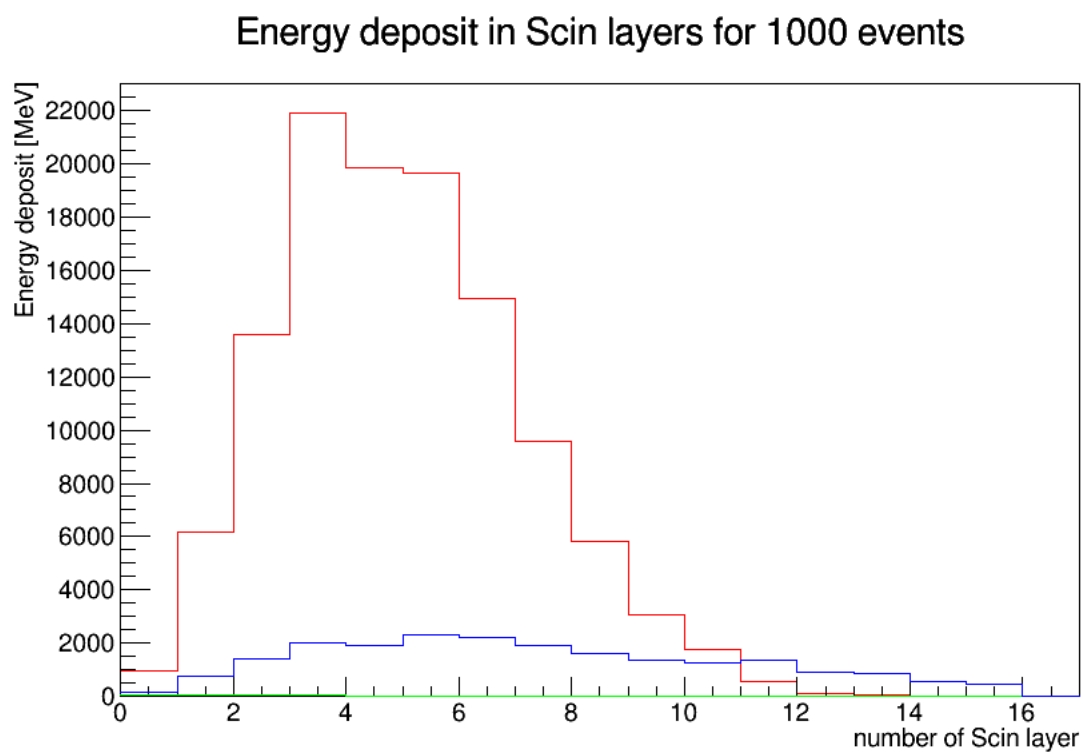
Tabela 1: Całkowita energia zdeponowana w detektorze w przeliczeniu na jeden foton.

Energia pierwotnego fotonu [TeV]	Energia zdeponowana w detektorze [GeV]
2	36,9529
1	18,5066
0,5	9,23262
0,1	1,79558

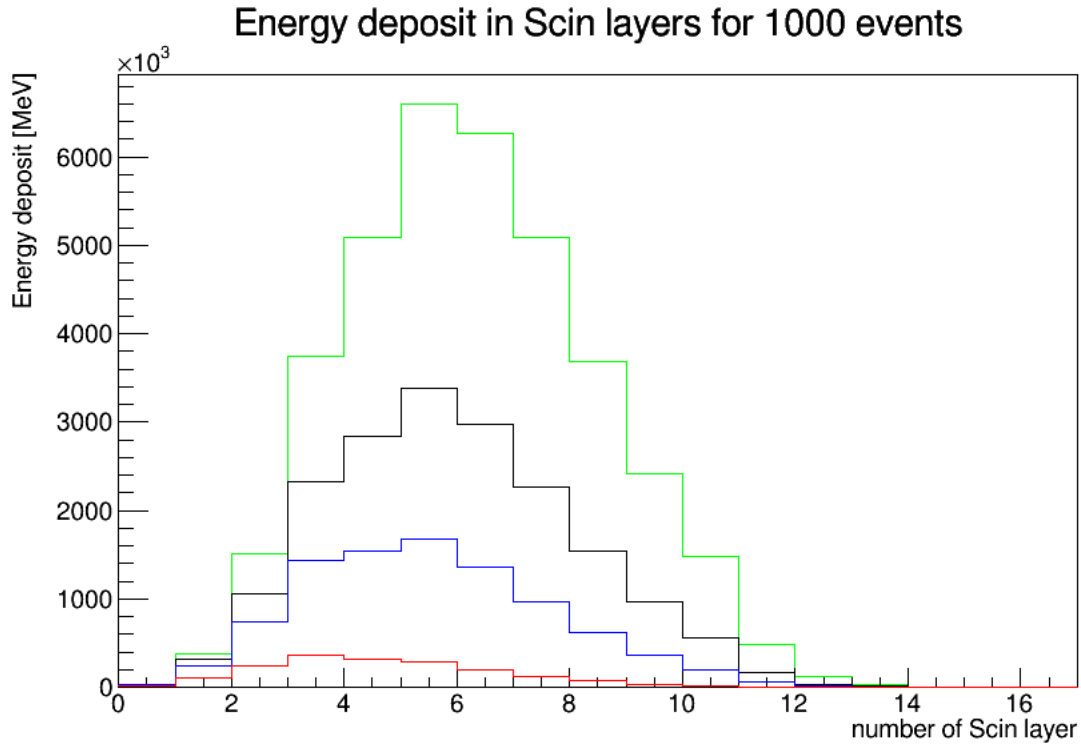
neutronu obserwujemy znacznie niższą depozycję energii. Z drugiej strony dla neutrony energia zostaje zdeponowana również w dalszych częściach detektora, co może umożliwić jego detekcję (np. ustawiając większą czułość w dalszych warstwach).

W bocznej wieży rejestrujemy również fotony na które rozpada się pion. Natomiast nie rejestrujemy energii podczas symulacji fotonu, co może pozwolić na ich rozróżnienie w detektorze. W tej wieży w przypadku neutronu również rejestrujemy energię znacznie niższą niż w przypadku pionu.

Następnie wykonano symulację dla różnych energii pierwotnego fotonu. Wynik przedstawiono na wykresie 5. Widzimy, że im wyższa energia pierwotnego fotonu, tym większa energia zostaje zdeponowana. Obliczono całkowitą energię zdeponowaną w detektorze (tabela 1). Ilość zdeponowanej całkowitej energii zdeponowanej w wieży jest proporcjonalna do energii wysłanego fotonu.



Rysunek 4: Na wykresie przedstawiono zdeponowaną energię w wieży bocznej w kolejnych warstwach scyntylatora dla trzech cząstek: fotonu (kolor zielony), neutronu (kolor niebieski), pionu (kolor czerwony).



Rysunek 5: Na wykresie przedstawiono zdeponowaną energię w wieży centralnej w kolejnych warstwach scyntylatora dla różnych energii pierwotnego fotonu. Kolejno dla 100 GeV (kolor czerwony), 500 GeV (kolor niebieski), 1 TeV (kolor czarny) oraz 2 TeV (kolor zielony). Wysokość najwyższego odczytu rośnie wraz z energią.

Przyjmy się energii deponowanej przez pion. Całkowite zdeponowane energie przedstawiono w tabeli 2. Stosunek tychże energii wnosi 0,054726. Zakładamy, że pion rozpada się na dwa fotony o równych energiach, w przybliżeniu 500 GeV. Z poprzednich symulacji wiemy jaka energia jest średnio deponowana przez fotony o energiach 500 GeV. Porównując ją z energiami uzyskanymi w symulacji pionów możemy sprawdzić jak dużo fotonów pochodzących z rozpadu pionu π^0 trafia w każdą z wież (tabela 2). Widzimy, że w boczną wieżę trafia dużo mniej fotonów. W symulacji protony wysyłano z odległości 100 m. Fotony w rozpadzie pionu π^0 przy tak dużych energiach lecą pod małym kątem i możliwe, że przy większej odległości więcej fotonów trafi w boczną wieżę. Warto zauważyć, że obliczenia te są przybliżone, a ilość energii deponowanej przez pojedynczy foton w każdej z wież może być inna, ze względu na różnice w ich wielkości.

Tabela 2: Energia deponowana oraz wyniki dla przypadku pionu dla 1000 eventów.

	Całkowita zdeponowana energia [GeV]
centralna wieża	$1.03141 \cdot 10^4$
boczna wieża	$5.64450 \cdot 10^2$
	Obliczona ilość fotonów trafiających w wieże
centralna wieża	1117
boczna wieża	61
stosunek zdeponowanych energii	0.054726

Podsumowanie

W projekcie zaimplementowano detektor złożony z dwóch kalorymetrów w postaci wież. Detektor ten jest przeznaczony do pomiaru cząstek neutralnych wyprodukowanych pod małymi kątami. Symulacja została przeprowadzona dla trzech różnych cząstek neutralnych: fotonu, neutronu oraz pionu π^0 . Mierzono zdeponowaną energię w warstwach scyntylatorów zawartych w wieżach. W przypadku tychże cząstek znaleziono różnice w ddepozycie energii, które mogą umożliwić ich rozróżnienie. Sprawdzono również, że energia zdeponowana przez wpadający do kalorymetru foton jest proporcjonalna do jego energii.

Literatura

- [1] http://home.agh.edu.pl/~leszekad/dydaktyka/wfiis_geant4_2015/lhcc-2006-004.pdf
Stan na 8.02.2015 r.
- [2] http://pdg.lbl.gov/2011/AtomicNuclearProperties/HTML_PAGES/074.html Stan na 5.01.2015 r.