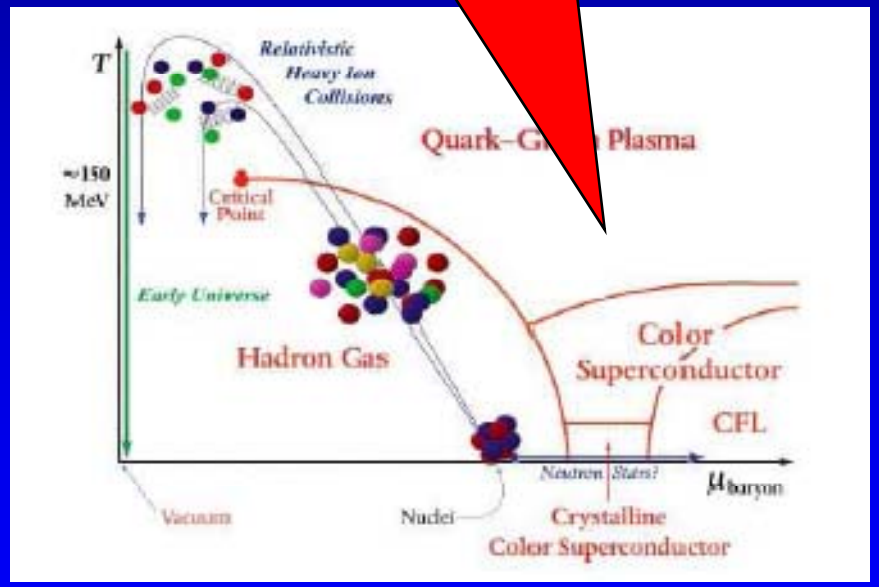
Jak zbudować eksperyment ALICE?

(A Large Ion Collider Experiment)

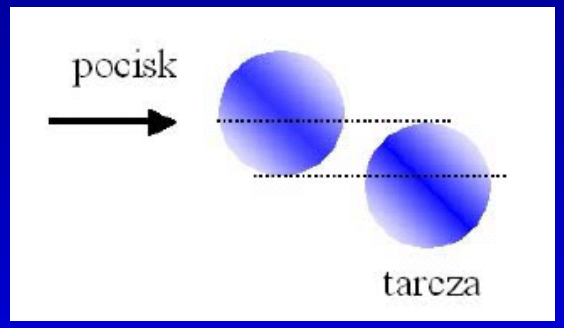
Marek Kowalski

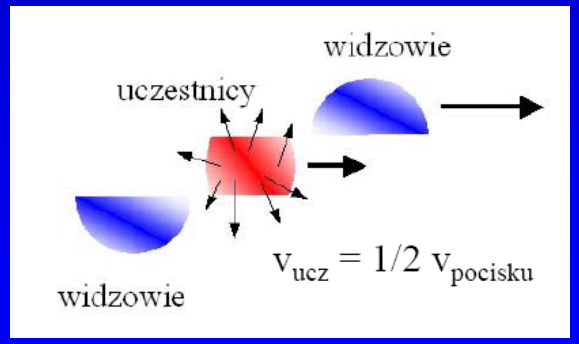
Jeszcze raz diagram fazowy

Interesuje nas ten obszar



Trzeba rozpędzić dwa ciężkie jądra (Pb) i zderzyć je ze sobą





Zderzenie powinno być jak najbardziej „centralne” – duży obszar przekrywania

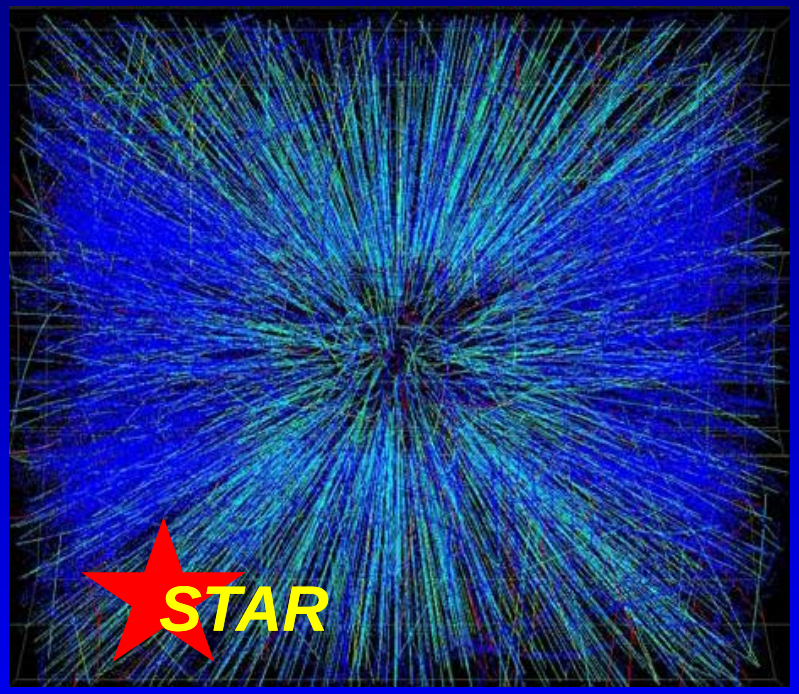
Co możemy wyznaczyć (prawie) bezpośrednio?

Wybór jest niewielki:

- tor cząstki
  - potrzebne jest urządzenie do pomiaru punktów na torze
- punkt produkcji i punkt rozpadu
  - wymagana jest duża precyzja pomiaru toru cząstki
- całkowita energia cząstki
- straty energii na jonizację (dE/dx)
  - w detektorach śladowych
- czas przelotu przez detektor
  - potrzebna są dwa liczniki START – STOP
- promieniowanie emitowane przez cząstkę
  - promieniowanie Czerenkowa
  - promieniowanie przejścia

Identyfikacja

Wyznaczanie toru cząstki – detektory śladowe



Wyzwanie – bardzo duże krotności cząstek

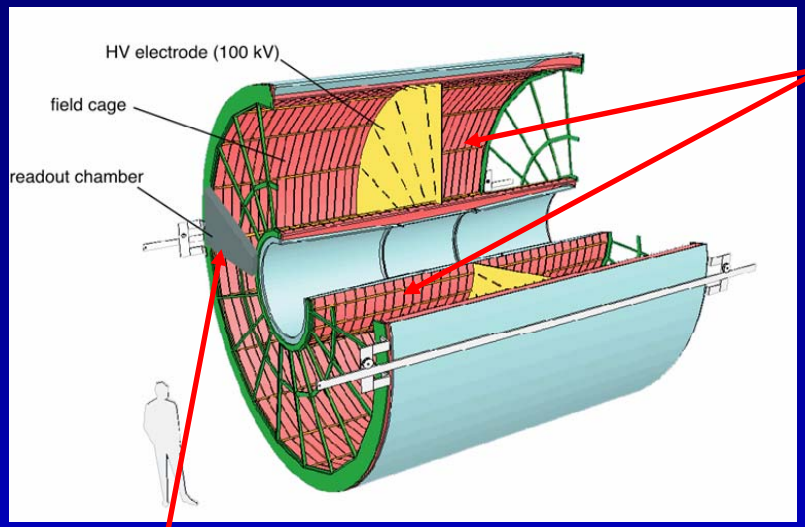
Przewidywania dla LHC

dN_{ch}/dy = 2000 - 4000

tyle cząstek mamy w kącie $0^\circ - 45^\circ$

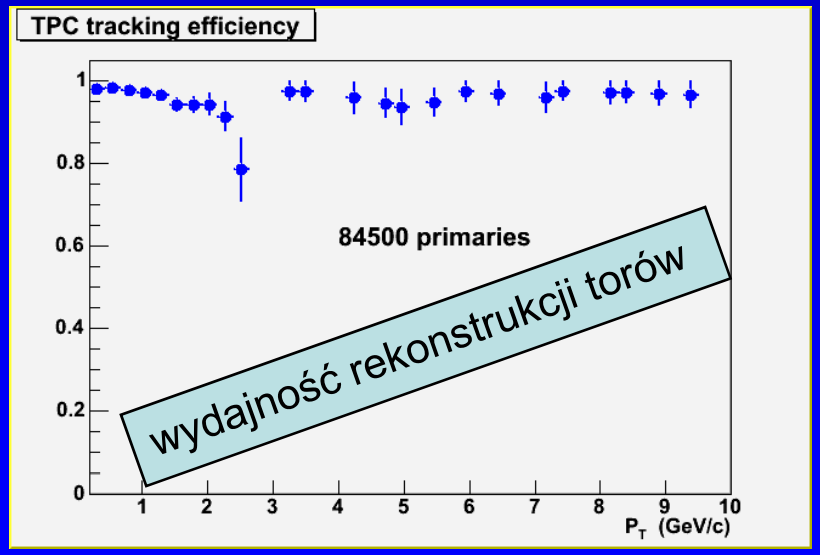
ALICE projektowano przy założeniu dN_{ch}/dy=8000

Z takimi krotnościami radzi sobie tylko jeden detektor - Komora Projekcji Czasowej (TPC)

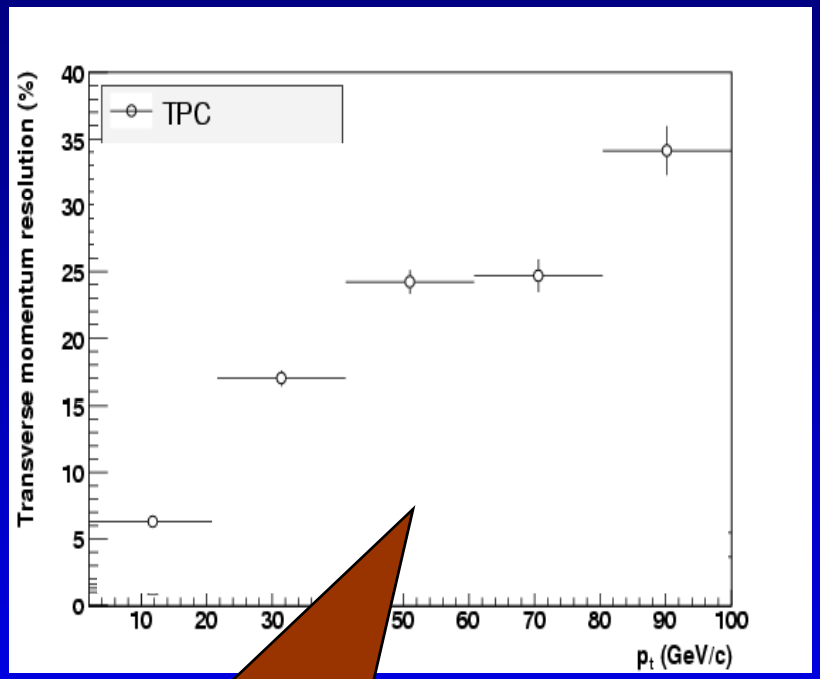


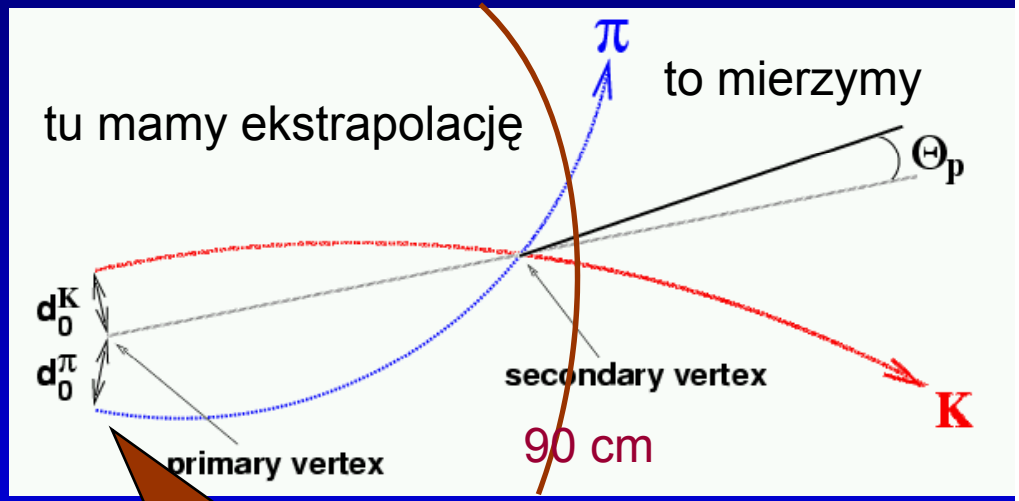
obszar roboczy

odczyt sygnału



- TPC nie daje dostatecznie dobrej dokładności pomiaru pędu
- TPC nie daje sobie rady z rekonstrukcją wtórnych wierzchołków (punktów rozpadu)





Słaba zdolność rozdzielcza dla dużych P_T

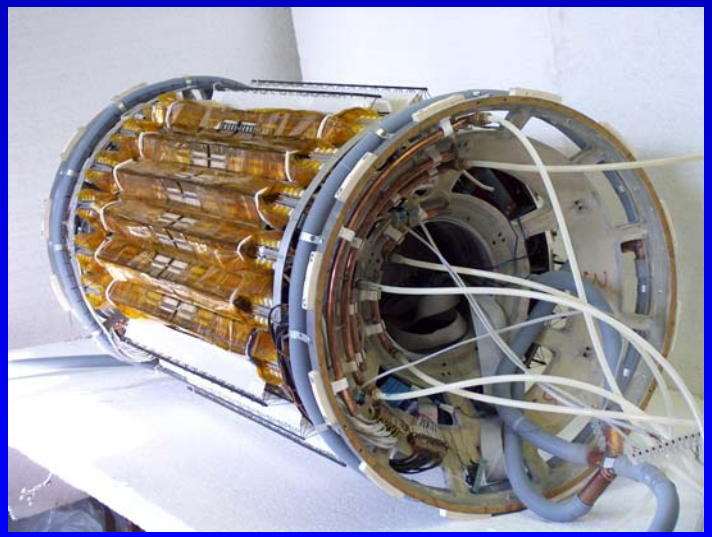
dokładność pomiaru *d* jest ok. 2 cm.

czy K i π pochodzą z wierzchołka pierwotnego, czy wtórnego?

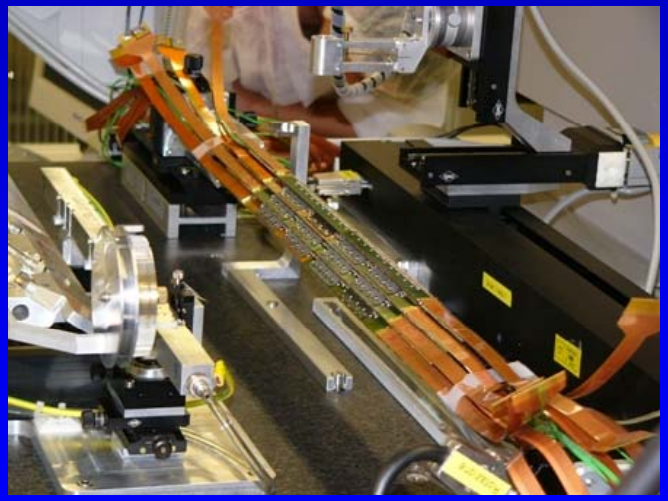
Potrzeba czegoś więcej

- Detektor krzemowy – kilka cylindrycznych warstw krzemu:
  - bardzo dobra zdolność rozdzielcza
  - może być umieszczony blisko punktu oddziaływania

- Ale:
  - mierzy najwyżej kilka punktów na torze cząstki (TPC mierzy ponad 190)
  - niekorzystny budżet materiałowy – krzem jest gęsty

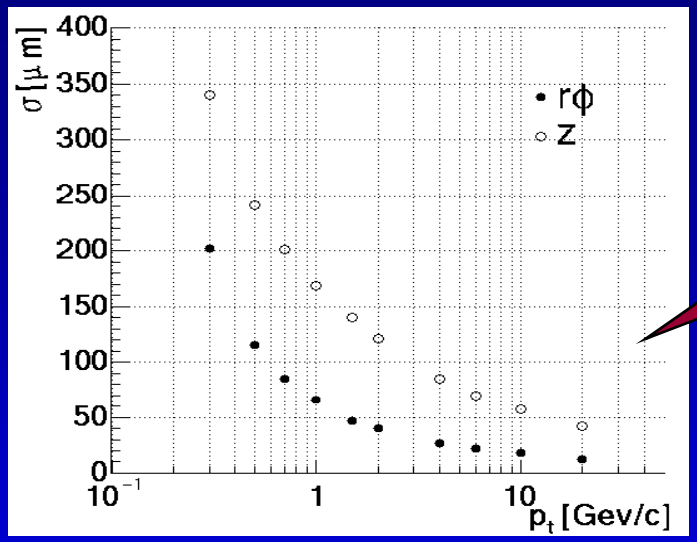


całość

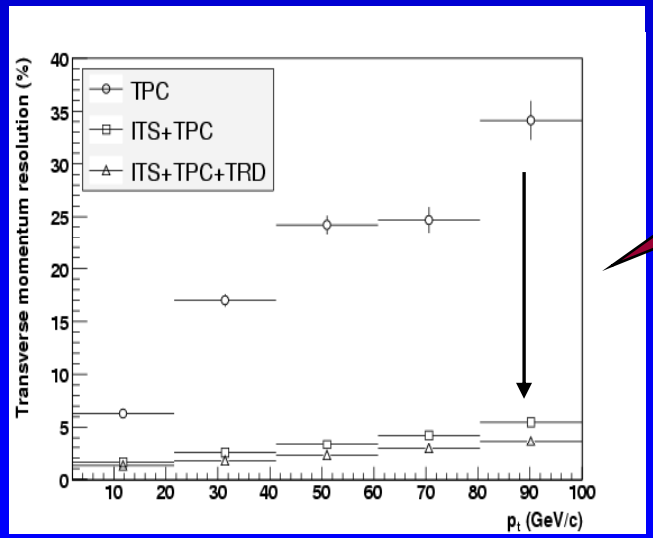


fragment detektora

I co nam to dało?



Dokładność pomiaru pojedynczego punktu

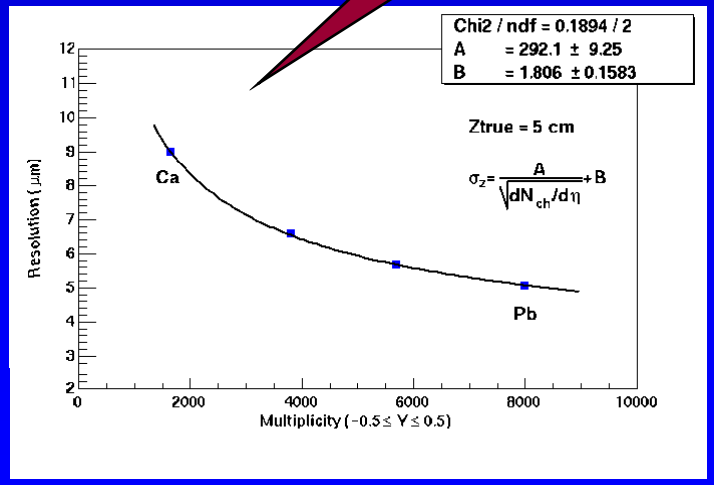


Dokładność pomiaru pędu

σx = 15 μm

σy = 15 μm

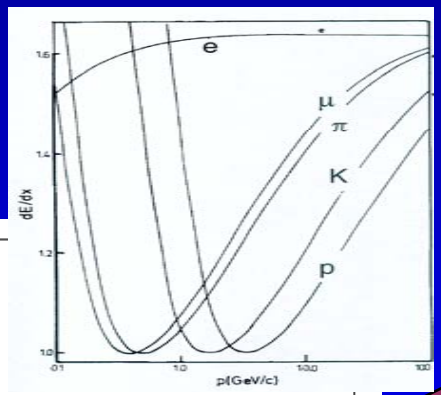
σz = 5 μm

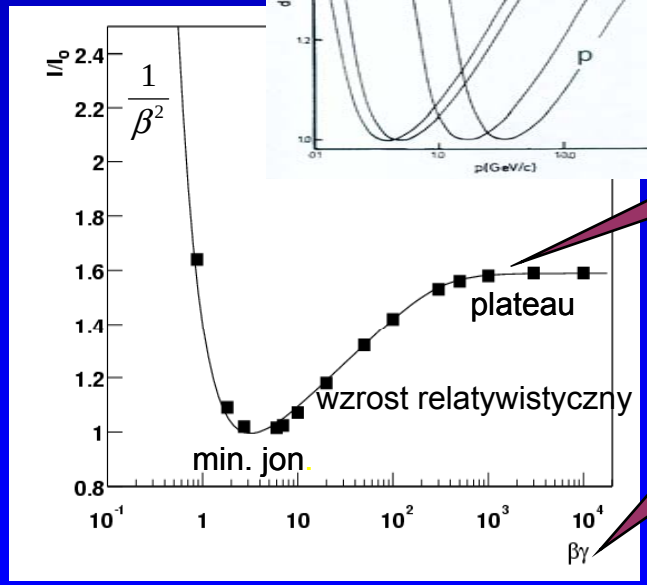


Pomiar pędu to za mało…

Cząstki trzeba zidentyfikować.

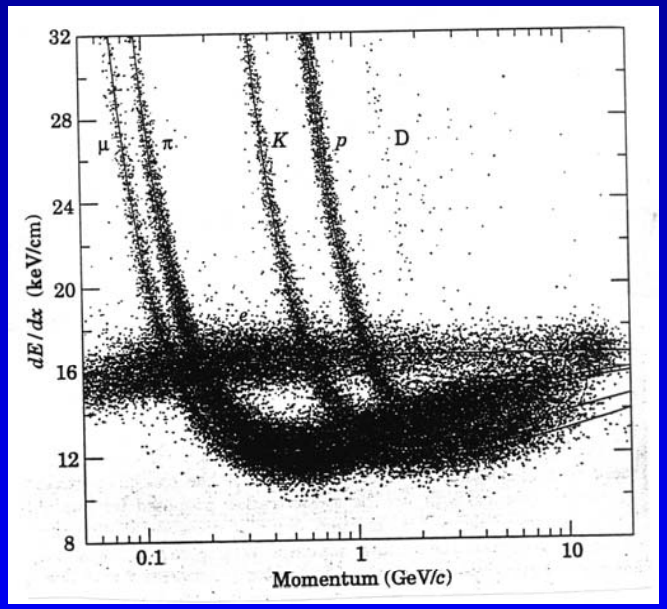
1. Pomiar strat energii na jonizację





Krzywa Bethe-Blocha

$$\beta\gamma = \frac{p}{m}$$



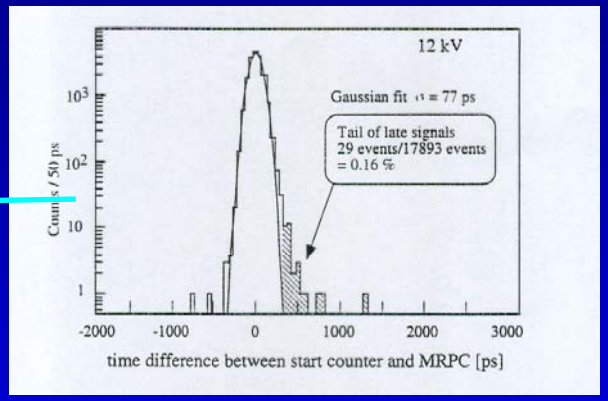
Dobra identyfikacja w obszarze małych pędów

2. Pomiar czasu przelotu

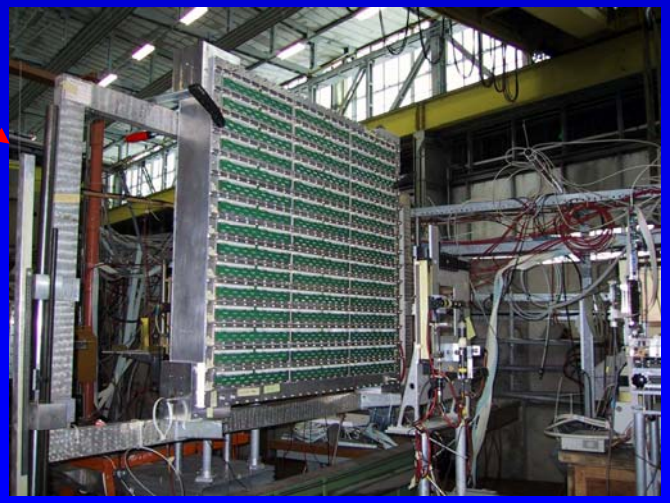
Potrzebne są 2 liczniki – START i STOP. Liczniki muszą być szybkie!

Sygnał musi szybko narastać i szybko wygasać

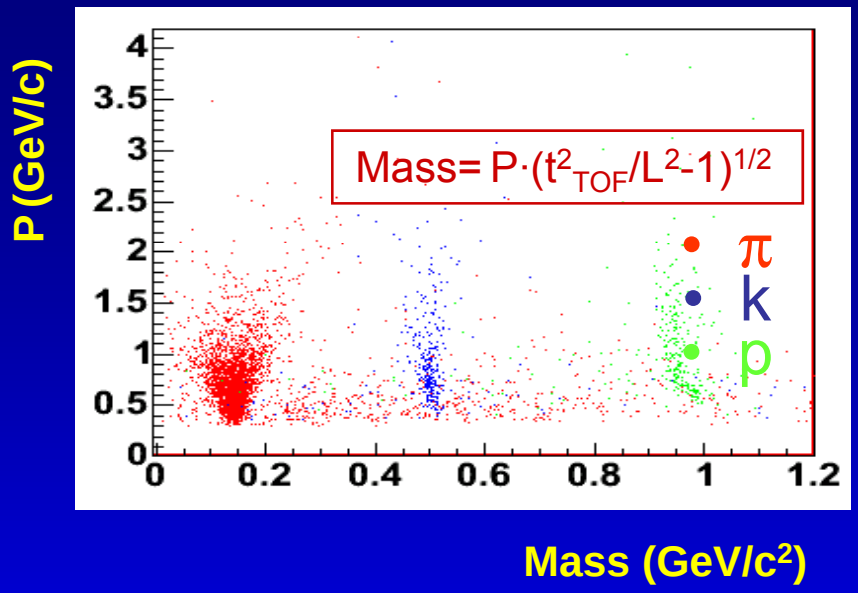
Dobra zdolność rozdzielcza ~70 ps (10^{-12} s)



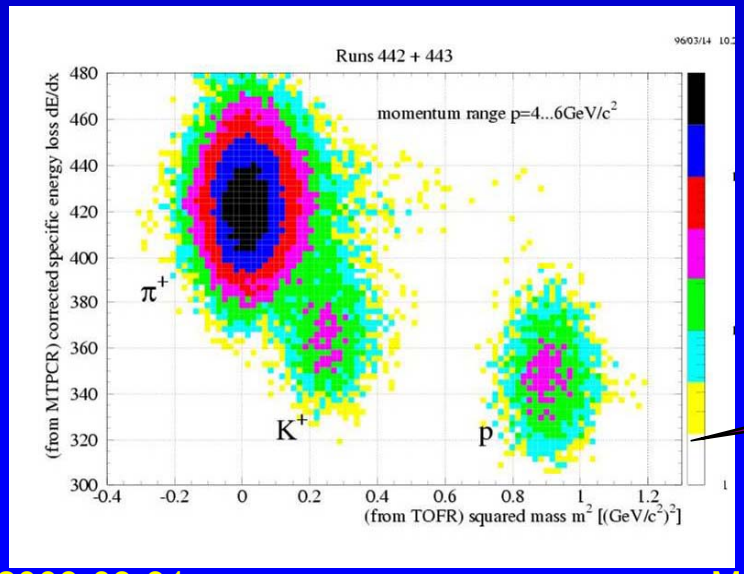
TOF ALICE



czas przelotu + pęd daje nam identyfikację cząstki (można wyznaczyć masę)



Ta metoda dobrze działa w obszarze pędów pośrednich.



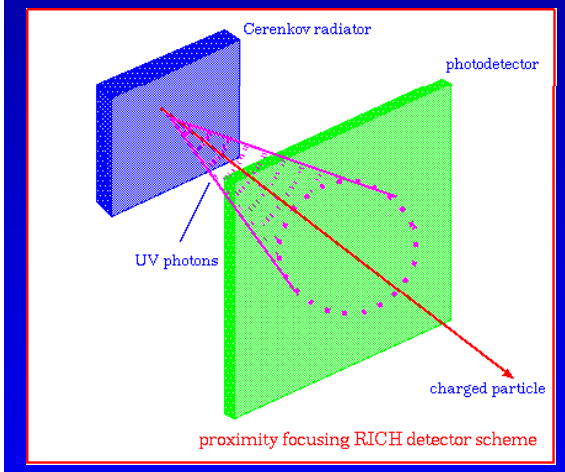
Można połączyć informację dE/dx i TOF

3. Liczniki Czerenkowa

Promieniowanie Czerenkowa - emisja słabego światła o anomalnych charakterystykach przez naładowane cząstki poruszające się z prędkością większą od prędkości światła w danym ośrodku – P. A. Czerenkow (1934)

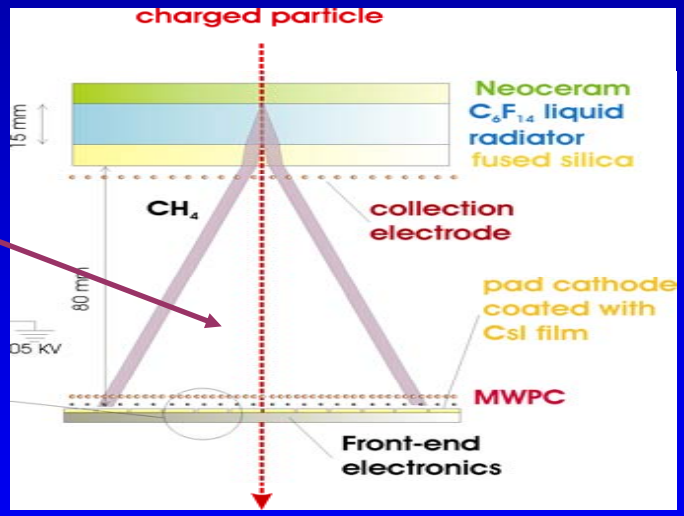
Opis matematyczny – I. M. Frank, I. J. Tamm

Nobel 1958

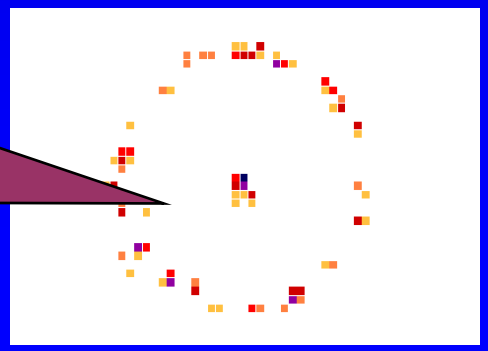


$$\cos\Theta = \frac{1}{n \cdot \beta}$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

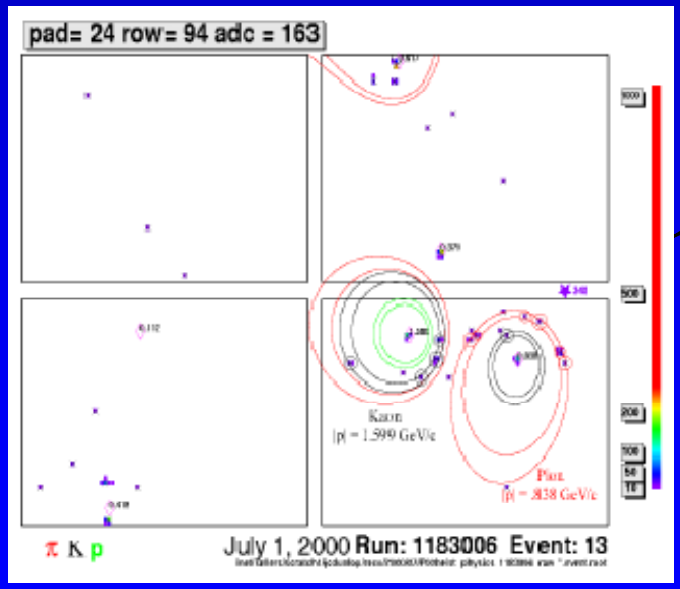


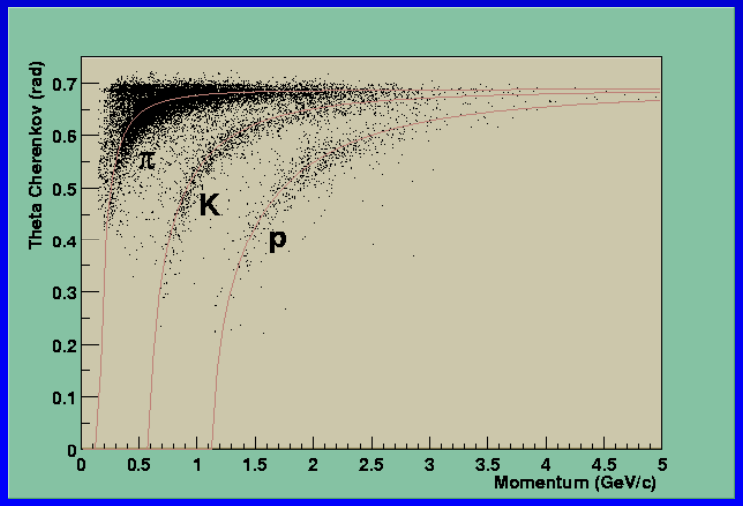
promień okręgu zależy od prędkości cząstki, a więc przy ustalonym pędzie, od jej masy, co umożliwia identyfikację (w ogólnym przypadku obraz jest krzywą stożkową)



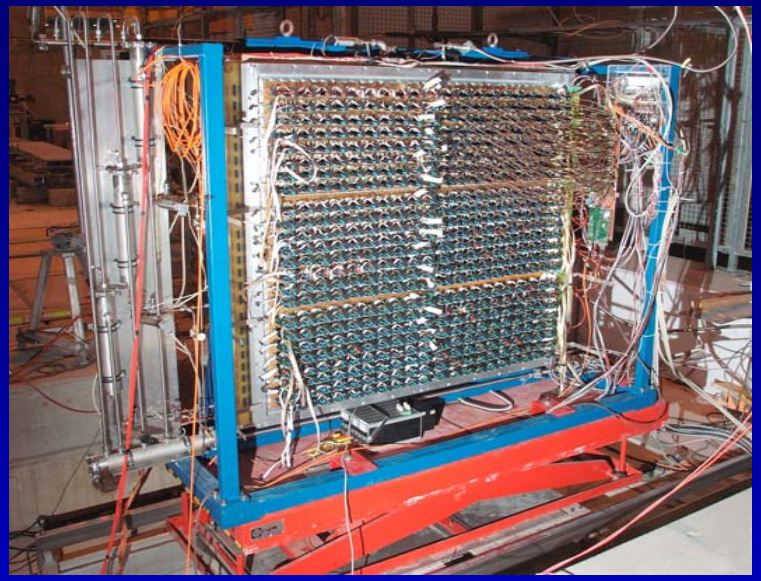
NA35 RICH na wiązce S, 200 GeV/A, eksperyment na stałej tarczy

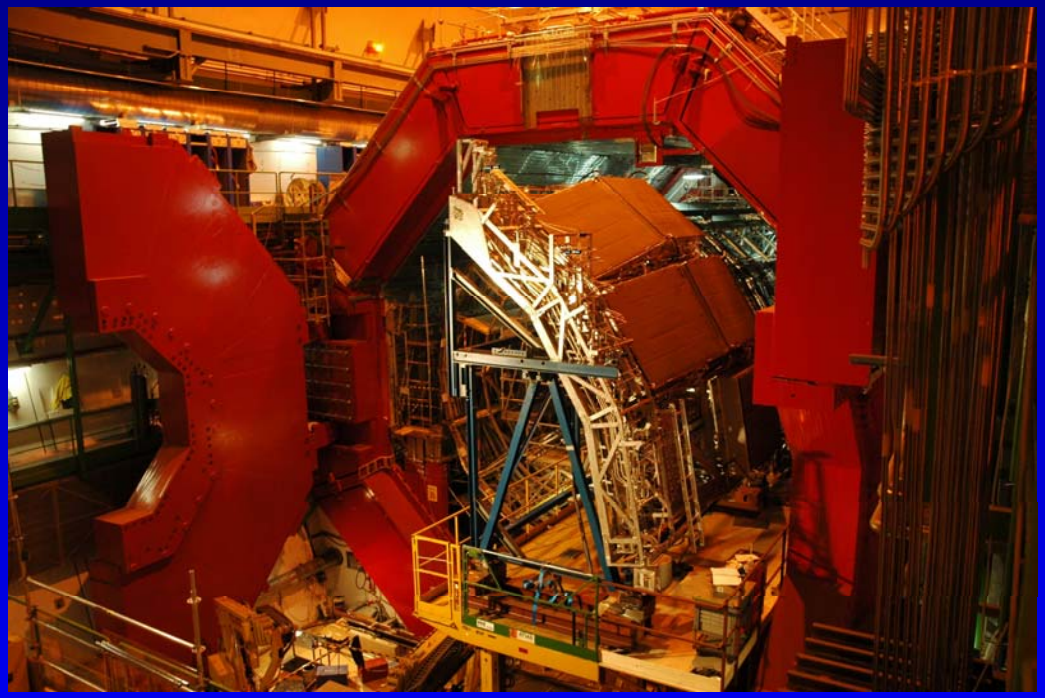
Prototyp RICH eksperymentu ALICE w eksperymencie STAR w BNL, Au, 100 GeV/A (wiązki przeciwbieżne)





separacja π/K/p dla dużych p_T





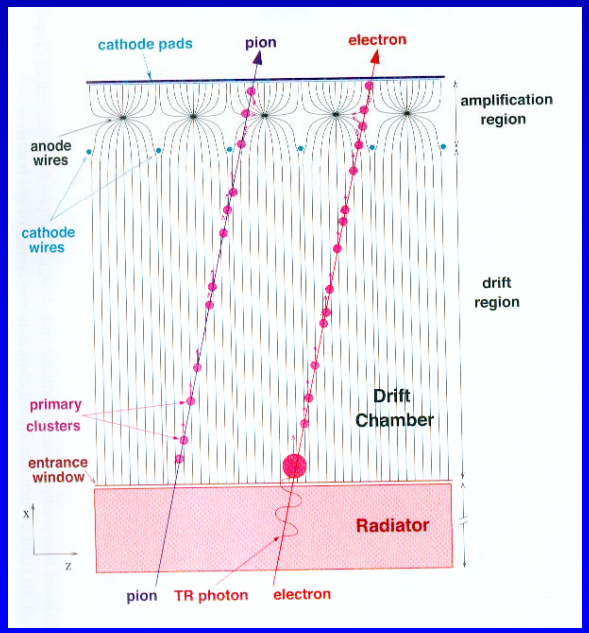
Identyfikacja szybkich elektronów

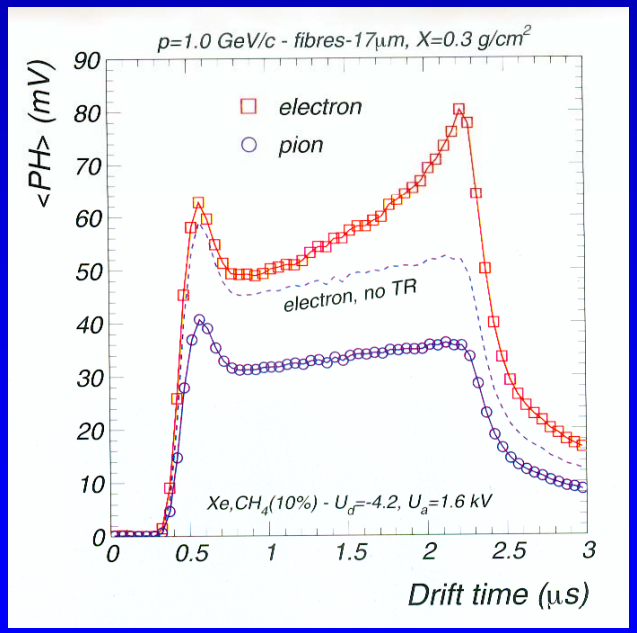
4. Detektor promieniowania przejscia (TDR)

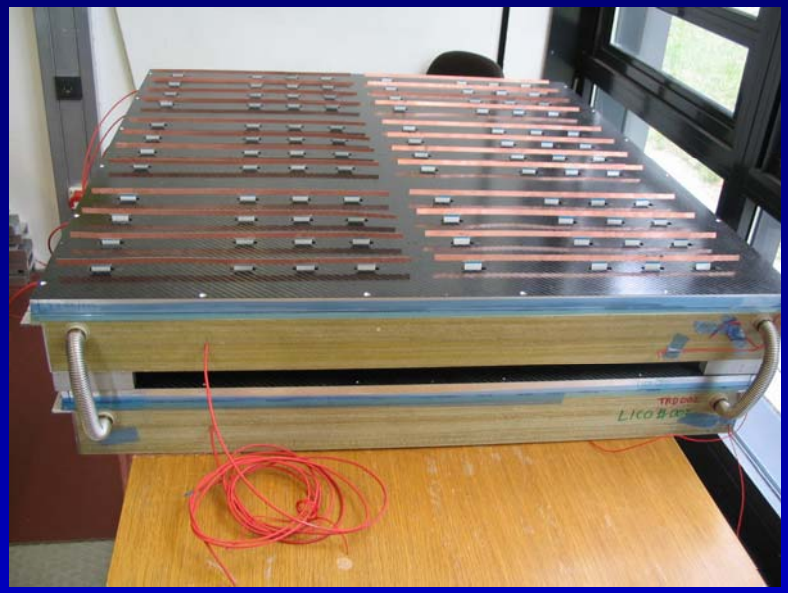
Cząstka naładowana emituje foton przy przejściu granicy ośrodków o różnych stałych dielektrycznych

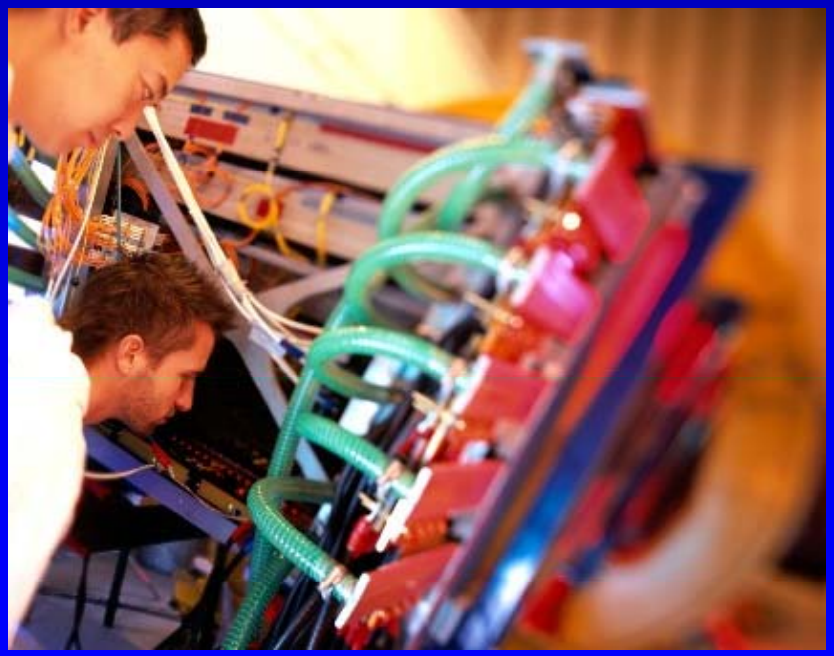
$$\sigma \propto \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Promieniowanie przejścia najchętniej emitują elektrony









Zostały jeszcze muony…

Muony, podobnie jak elektrony, są fermionami (spin połówkowy)
Oddziałują elektromagnetycznie (jak wszystkie cząstki naładowane) i słabo

oddziaływania słabe
odpowiadają za rozpady β
jąder atomowych (emisja elektronu)

w przeciwieństwie do elektronów, muony są nietrwałe

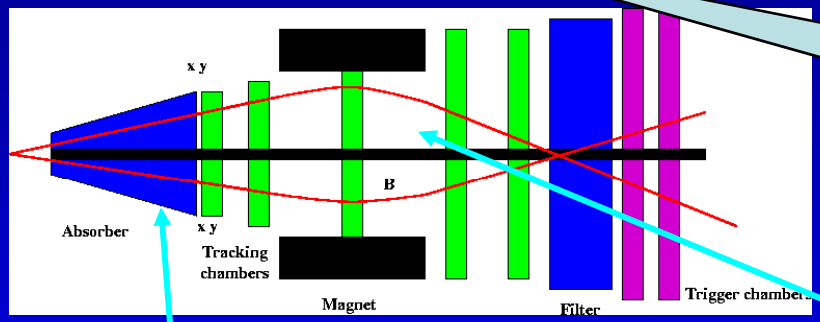
$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$$

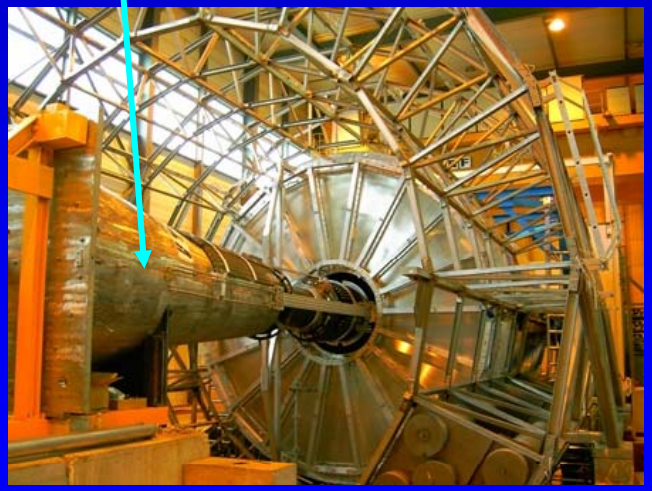
$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

Jak zaobserwować muony?

1. Należy „pozbyć się” hadronów – postawić na ich drodze jakiś absorber
2. To co pozostanie, rejestrujemy w detektorach śladowych

absorber jest „przezroczysty” dla muonów, które nie oddziałują silnie

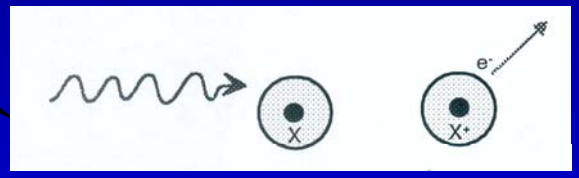




A jak rejestrujemy fotony?

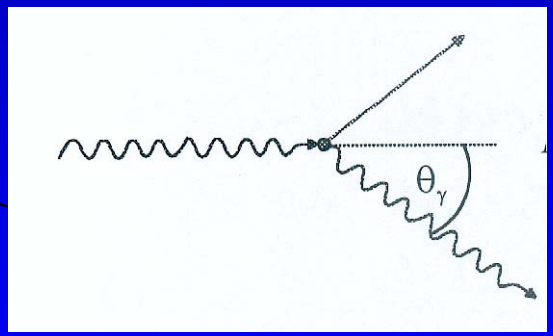
Oddziaływanie fotonów z materią:

Efekt fotoelektryczny



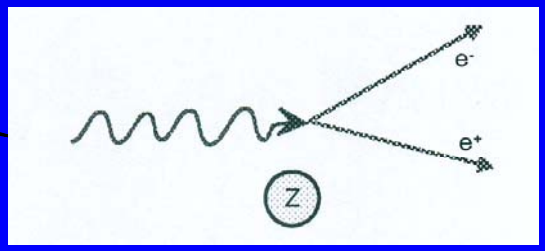
$$\gamma + X \rightarrow X^{+} + e^{-}$$

Rozproszenie Comptona



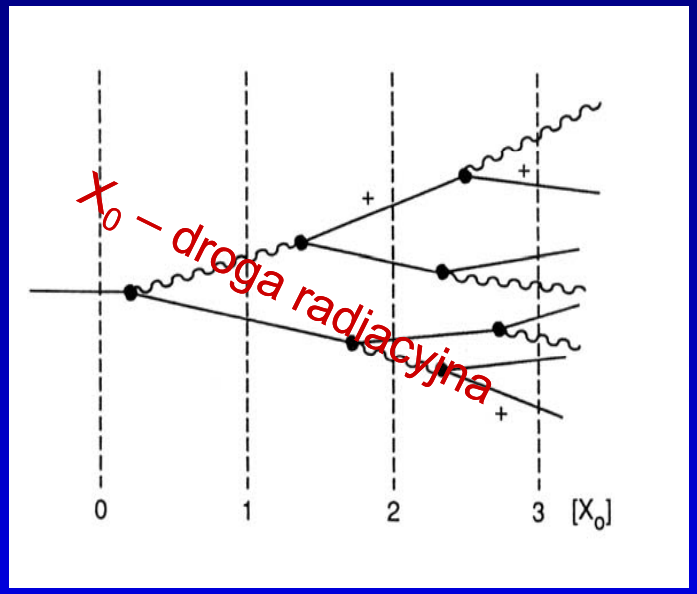
$$\gamma + e \rightarrow \gamma' + e'$$

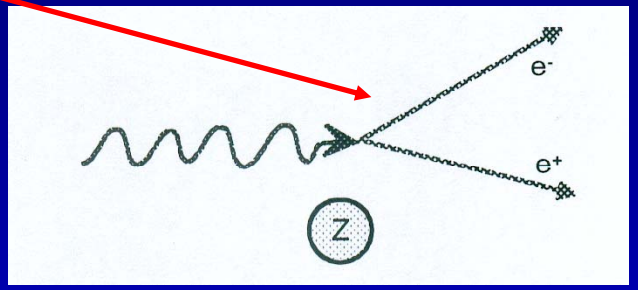
Produkcja par

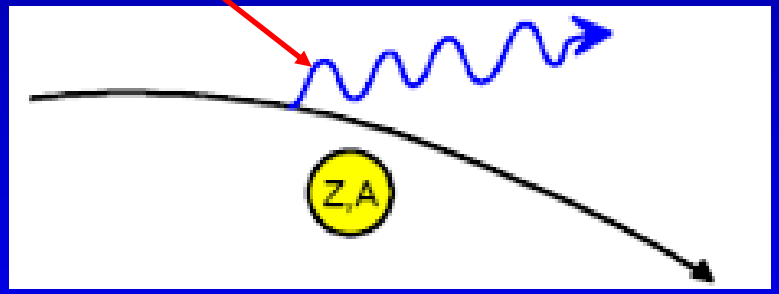


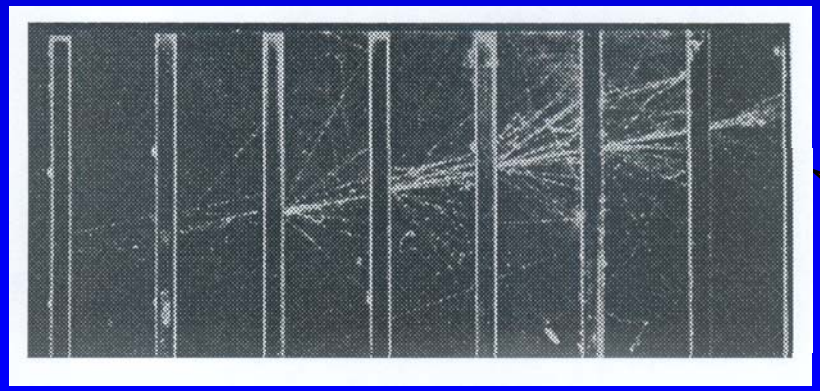
$$\gamma + A \rightarrow e^{+}e^{-} + A$$

Kaskada elektromagnetyczna
uproszczony przypadek tylko produkcja par i promieniowanie hamowania





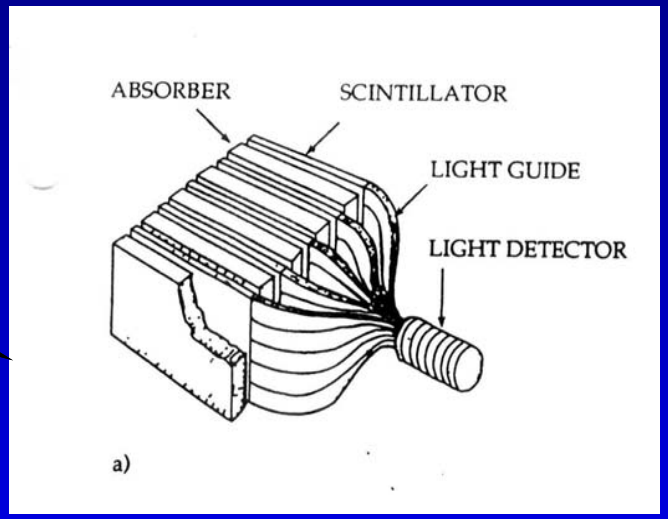




kaskada elektromagnetyczna w komorze Wilsona z ołowianymi absorberami

Całkowity depozyt energii w materii można zmierzyć - kalorymetr

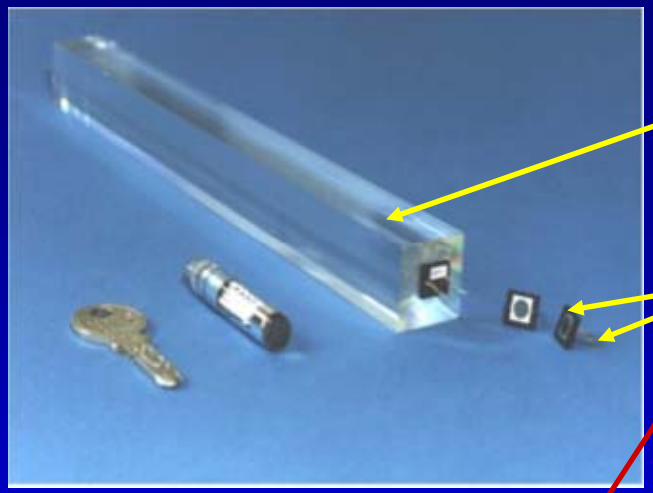
„Kanapka” (sandwich) scyntylator/absorber



W absorberze następuje rozwój kaskady

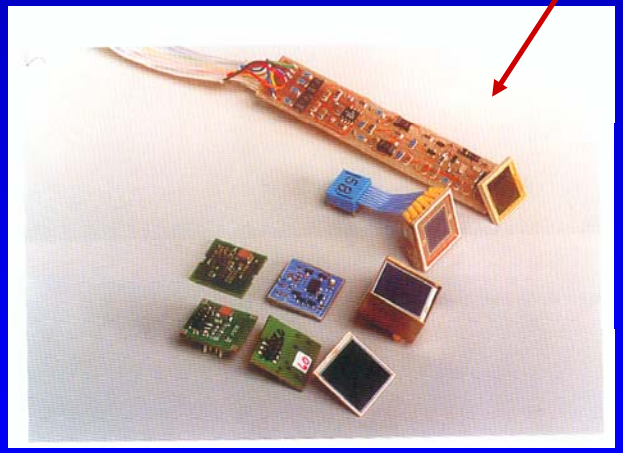
W scyntylatorze cząstki naładowane powodują emisję światła, które jest prowadzone światłowodami do fotopowielaczy i zamieniane na impuls elektryczny

W nowoczesnych kalorymetrach elektromagnetycznych używa się materiałów będących jednocześnie absorberem i scyntylatorem.

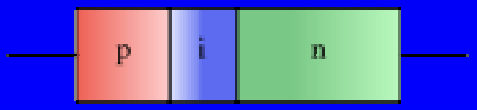


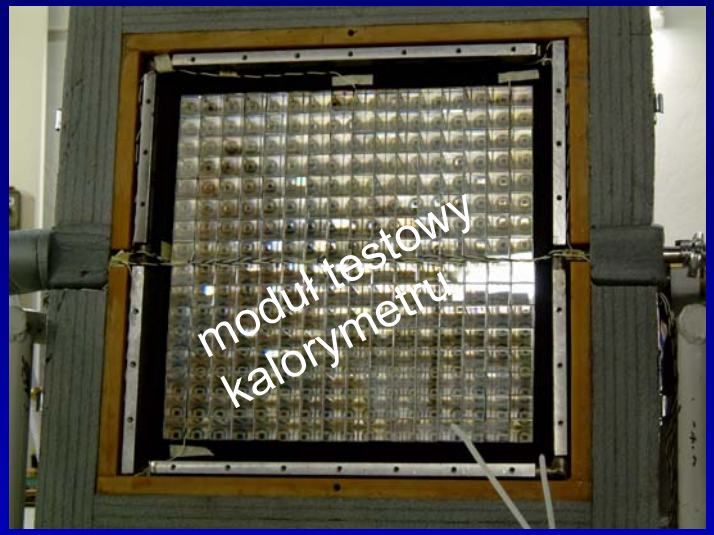
Kryształ $PbWO_4$

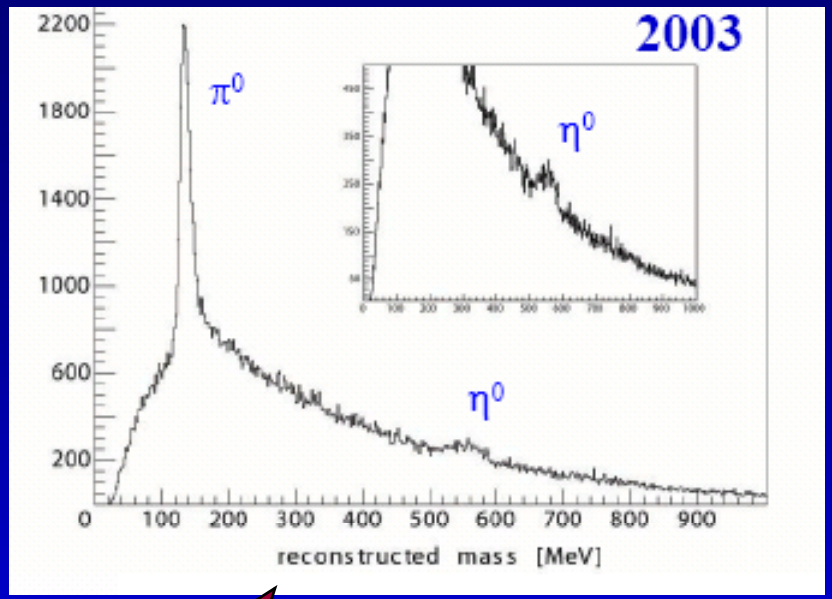
diody PIN Positive-Intrinsic-Negative

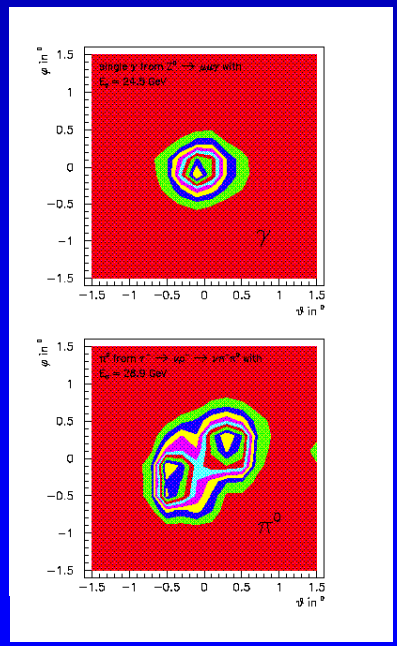


Jako fotodetektor dioda PIN jest spolaryzowana zaporowo, czyli nie przewodzi prądu. Foton uwalnia nośniki w obszarze „i”, które są wypychane przez odwrotnie spolaryzowane pole elektryczne, powodując przepływ prądu





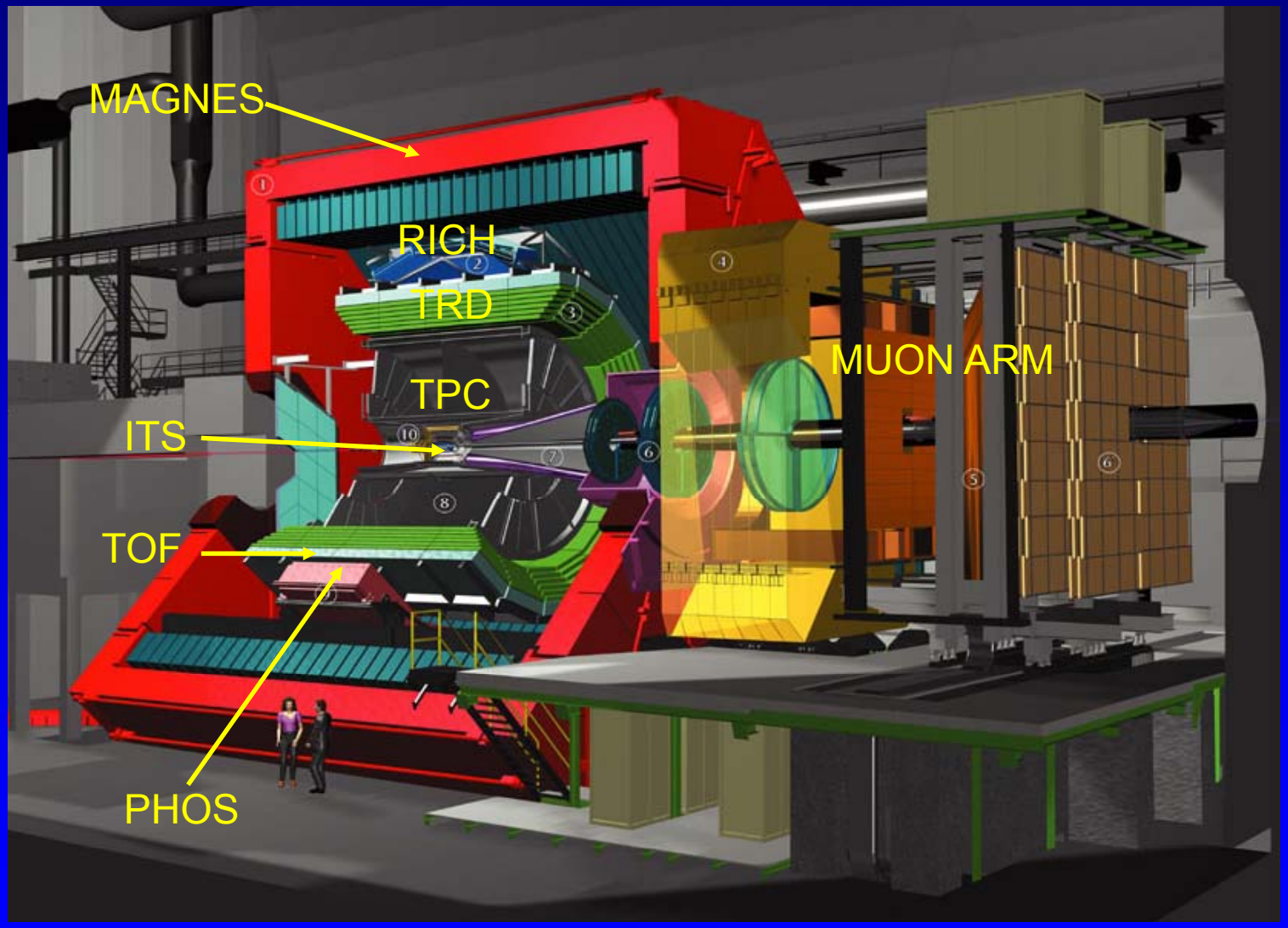




1 foton

2 fotony

$$\pi^0 \to \gamma\gamma, \quad \eta \to \gamma\gamma$$

dzięki identyfikacji fotonów możemy zrekonstruować cząstki bedące ich żródłem

A skoro mamy już wszystkie detektory…