

Fizyka cząstek: detektory

prof. dr hab. A.F.Żarnecki

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych IFD

Wykład VI

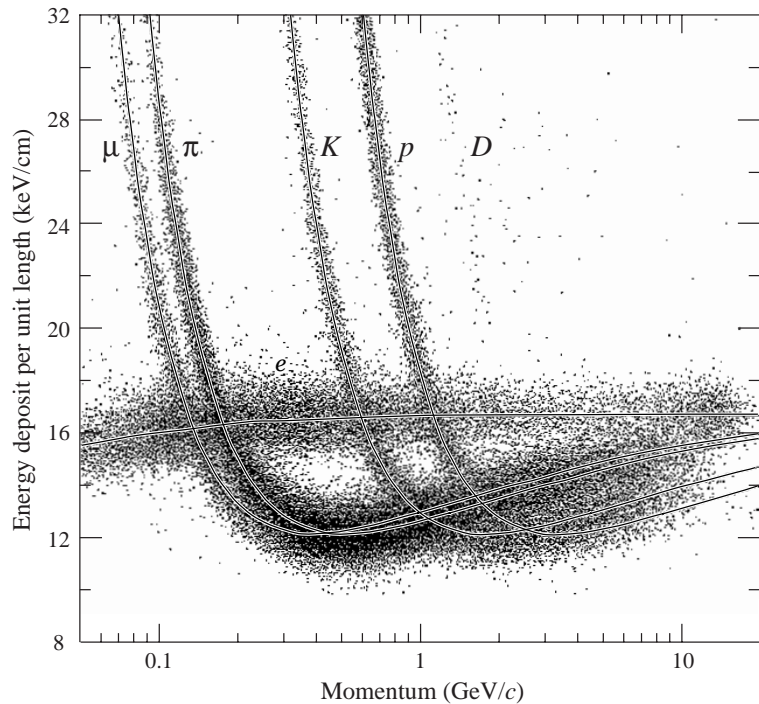
- Detektory identyfikacji cząstek

Identyfikacja cząstek

Omówione dotychczas typy detektorów pozwalają jedynie na pośrednią identyfikację

Detektory śladowe

Jednoczesny pomiar dE/dx i pędu \Rightarrow możliwość rozróżnienia cząstek o różnej masie
 \Rightarrow różnym współczynnikiem γ **Niestety tylko w ograniczonym zakresie !...**



Kalorymetry

Pomiar rozmiarów kaskady

\Rightarrow odróżnienie elektronów/fotonów od hadronów

Kalorymetry + d. śladowe

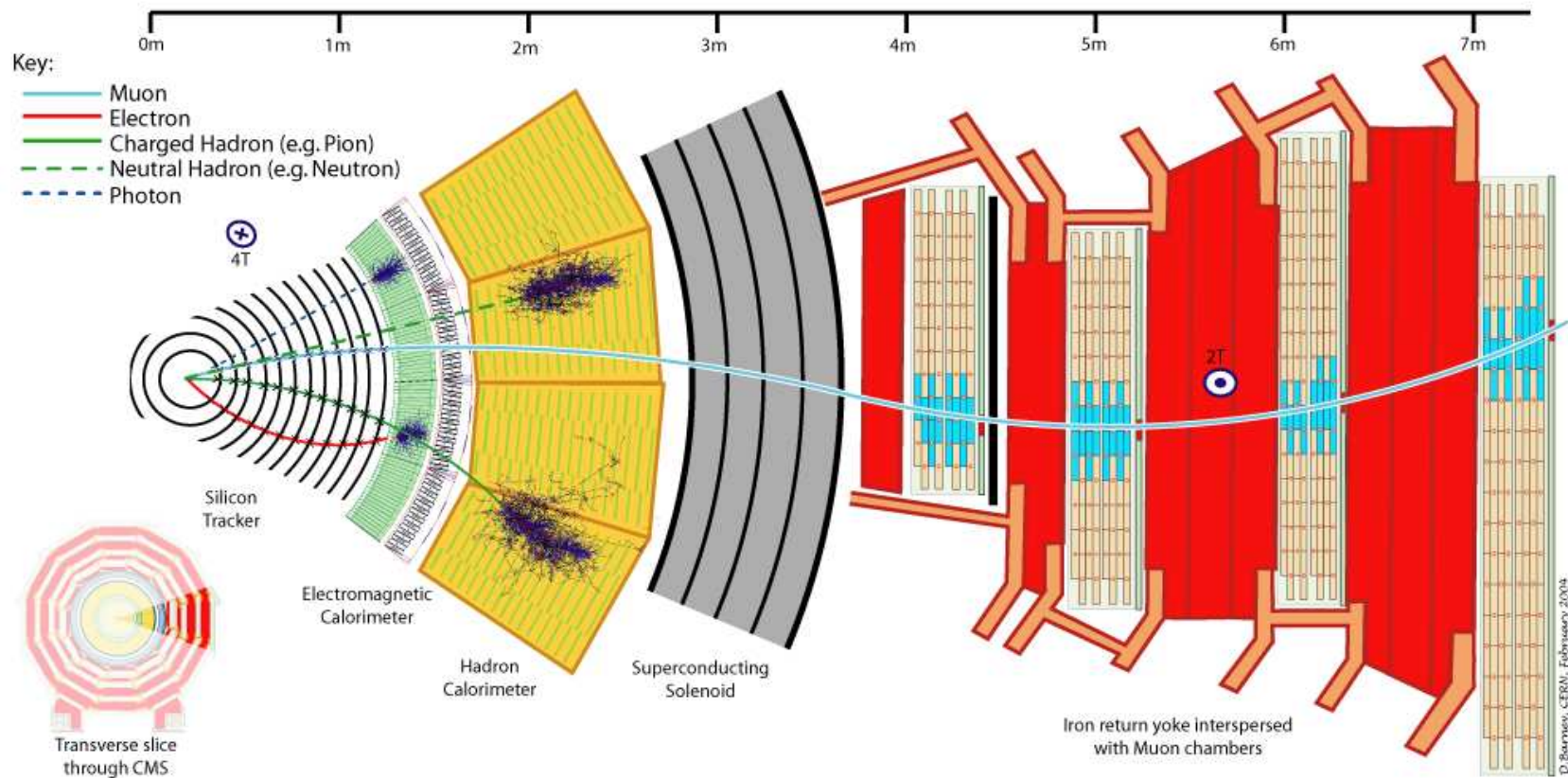
\Rightarrow odróżnienie cząstek naładowanych i obojętnych
np. elektron vs foton

Kalorymetry + detektory mionowe

\Rightarrow identyfikacja mionów

Identyfikacja cząstek

Kolejność detektorów jest tu niezwykle istotna.

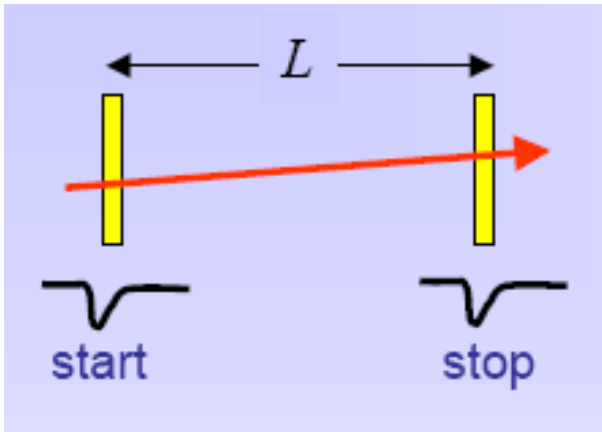


Jak możemy rozbudować ten układ, żeby poprawić identyfikację?

Identyfikacja cząstek

Liczniki czasu przelotu Time-of-Flight (TOF)

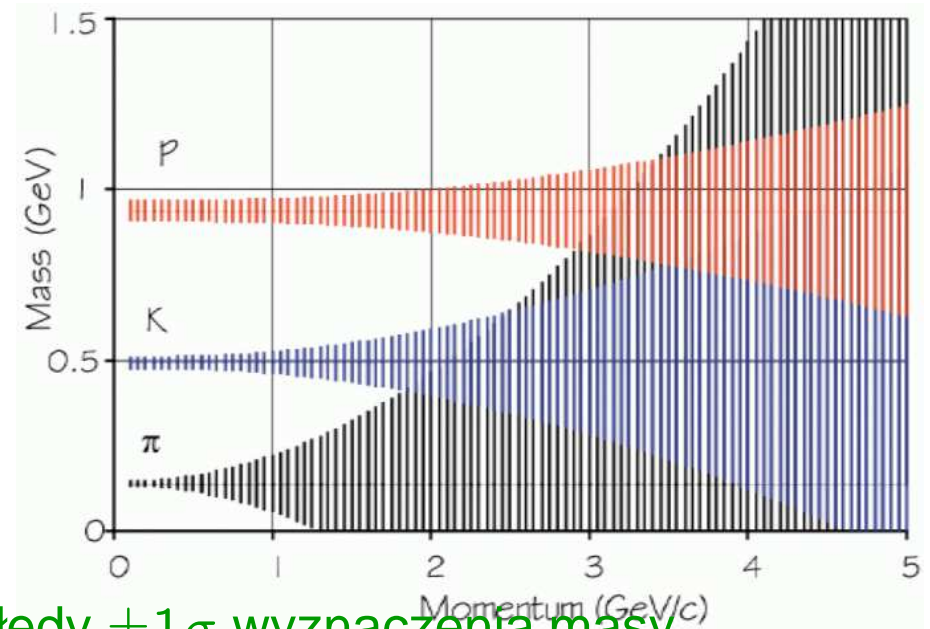
Pomiar czasu przelotu cząstki o znanym pędzie pozwala wyznaczyć jej masę:



Przykład: $l = 12m$, $\sigma_t = 150ps$, $\frac{\sigma_p}{p} = 1\%$

$$p = \beta\gamma m$$

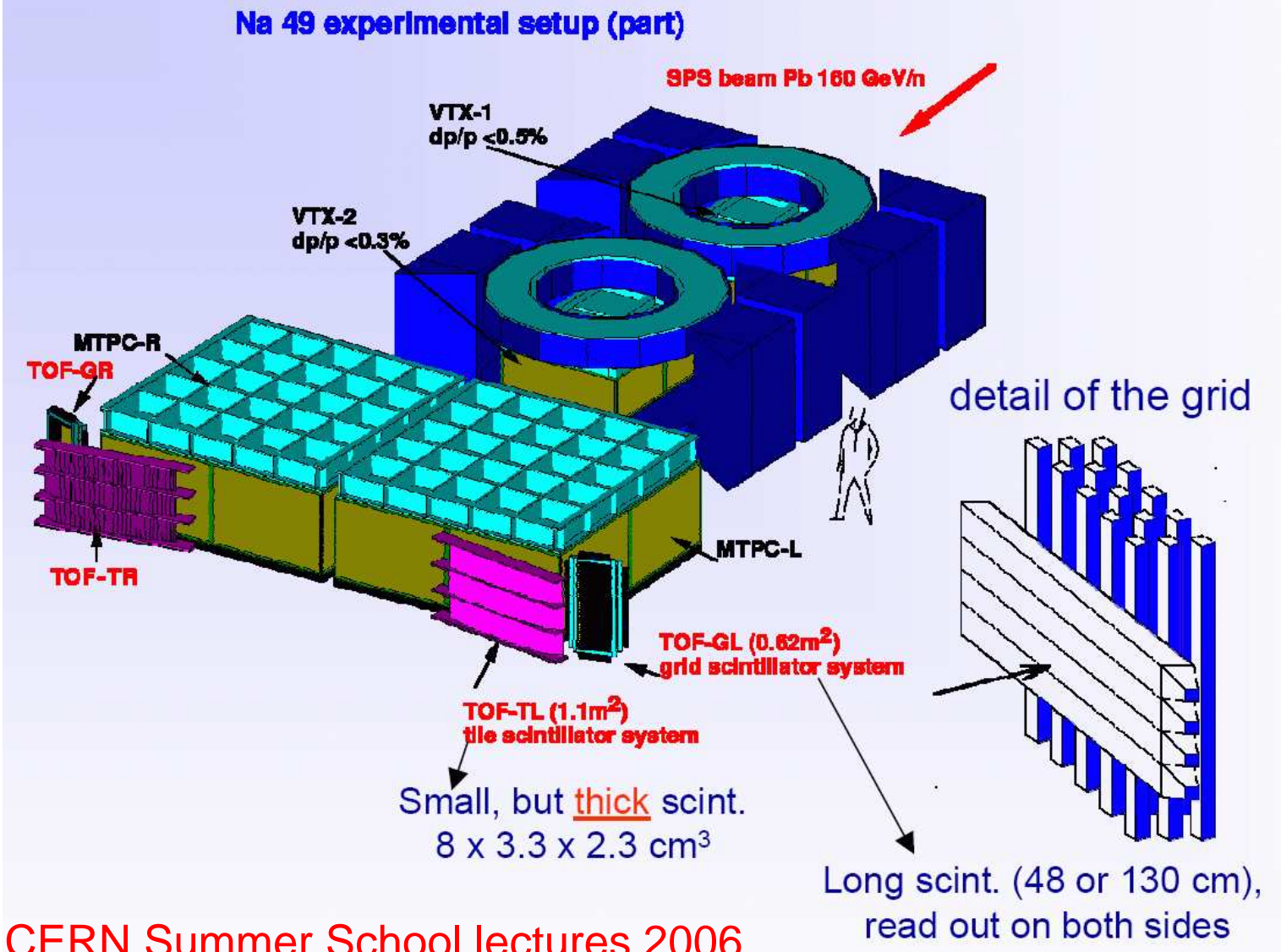
$$l = \beta ct \Rightarrow m^2 = \frac{p^2}{l^2} (c^2 t^2 - l^2)$$



Błędy $\pm 1\sigma$ wyznaczenia masy

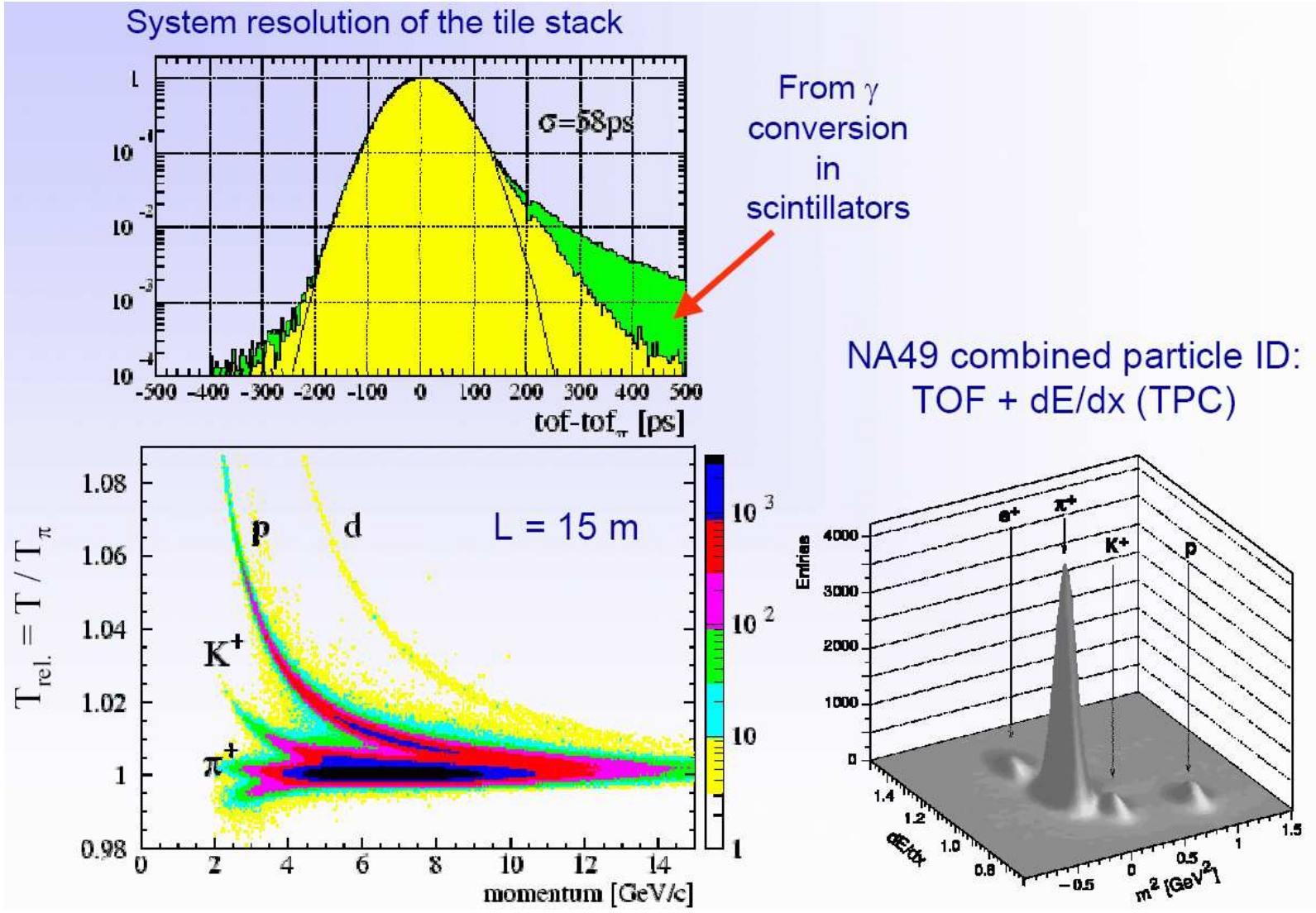
Dobra identyfikacja cząstek niskoenergetycznych ($p \sim m$)

Liczniki czasu przelotu



O.Ullaland, CERN Summer School lectures 2006

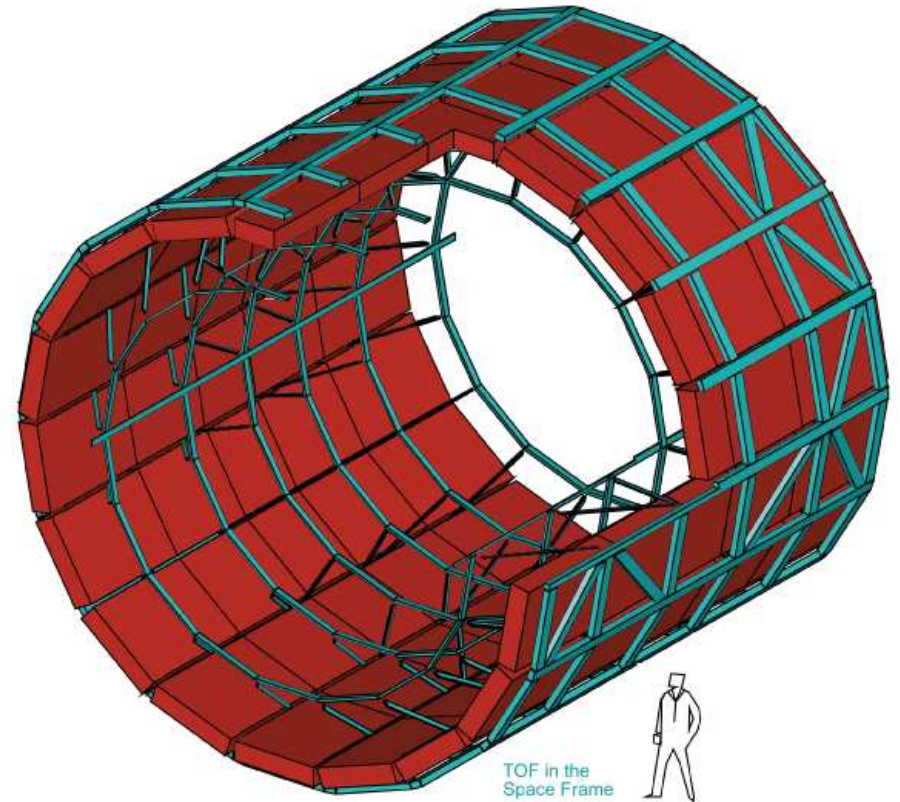
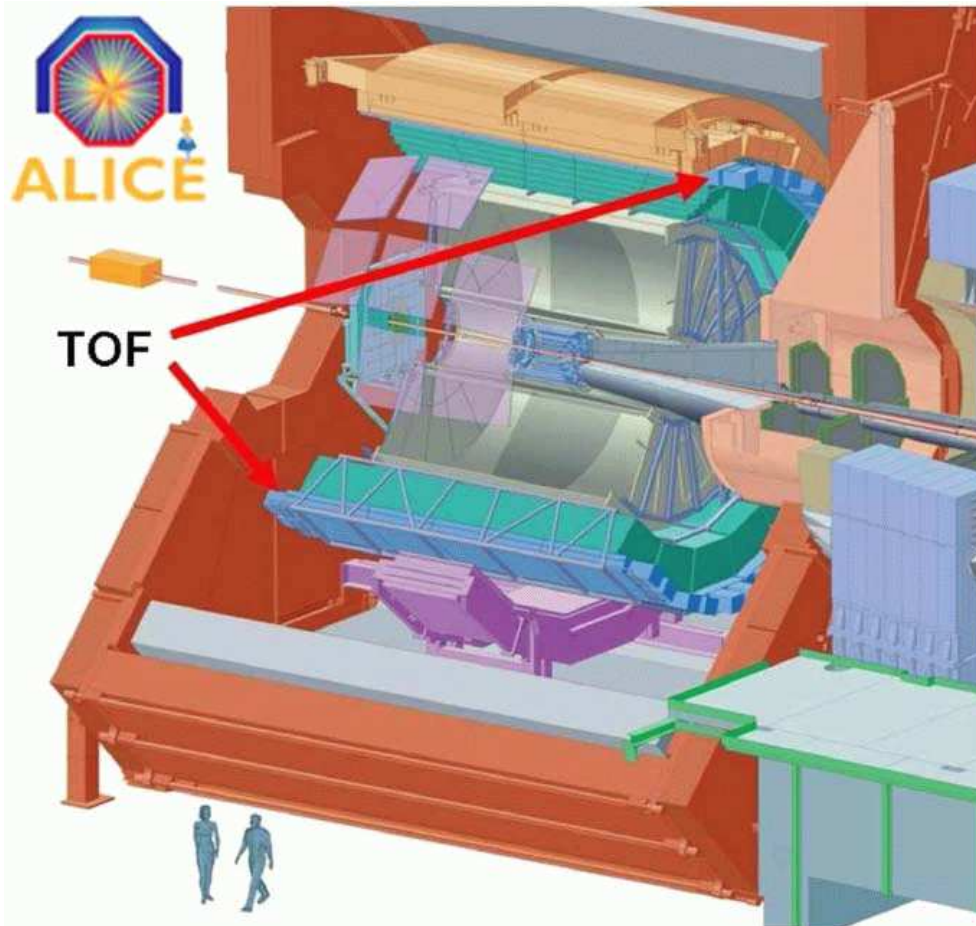
Liczniki czasu przelotu



Liczniki czasu przelotu

ALICE

Detektor TOF umieszczony jest za detektorami śladowymi, przed kalorymetrami



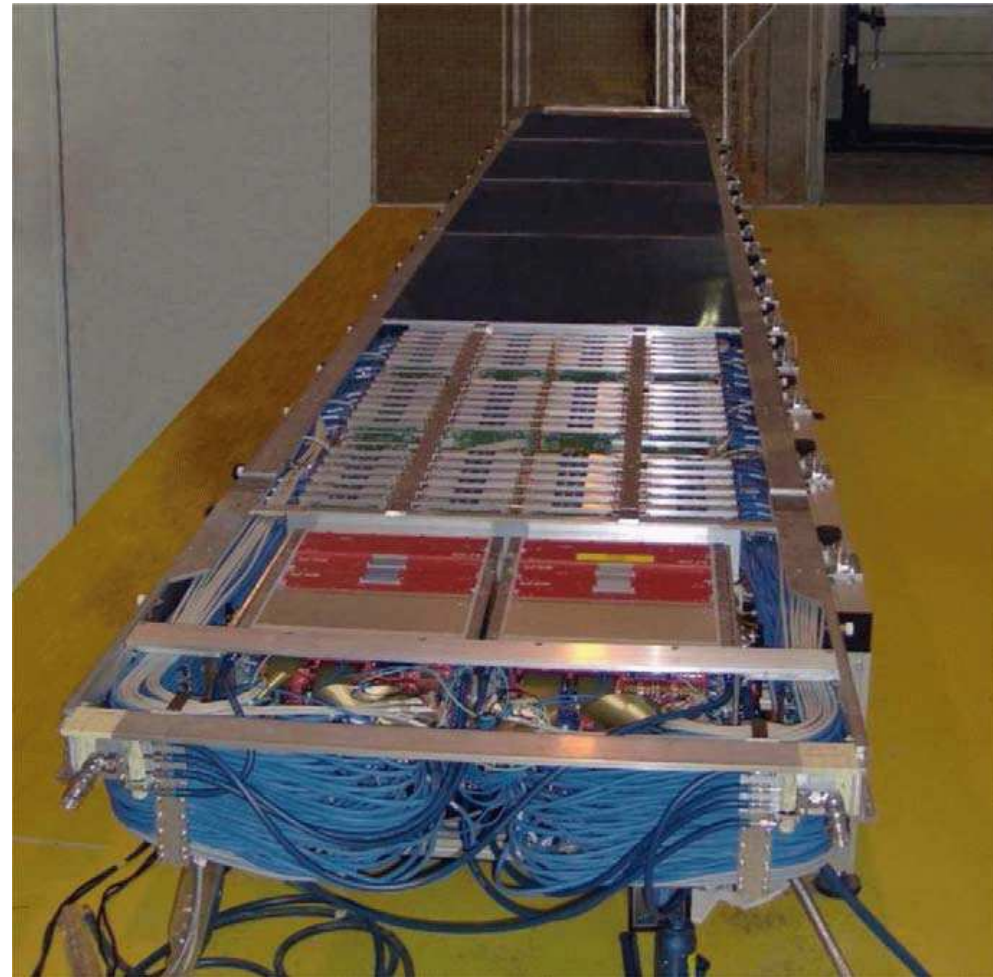
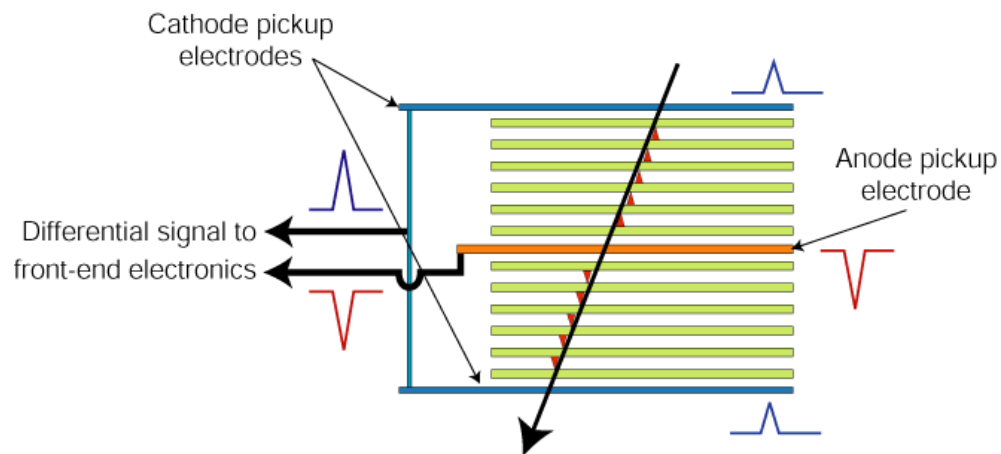
Liczniki czasu przelotu

ALICE

Zbudowany z Multi-gap RPC

2 grupy po 5 elementów aktywnych

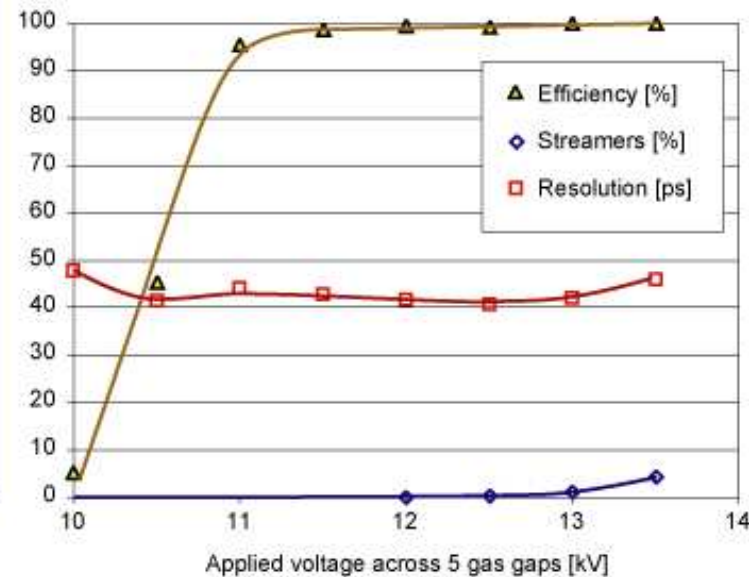
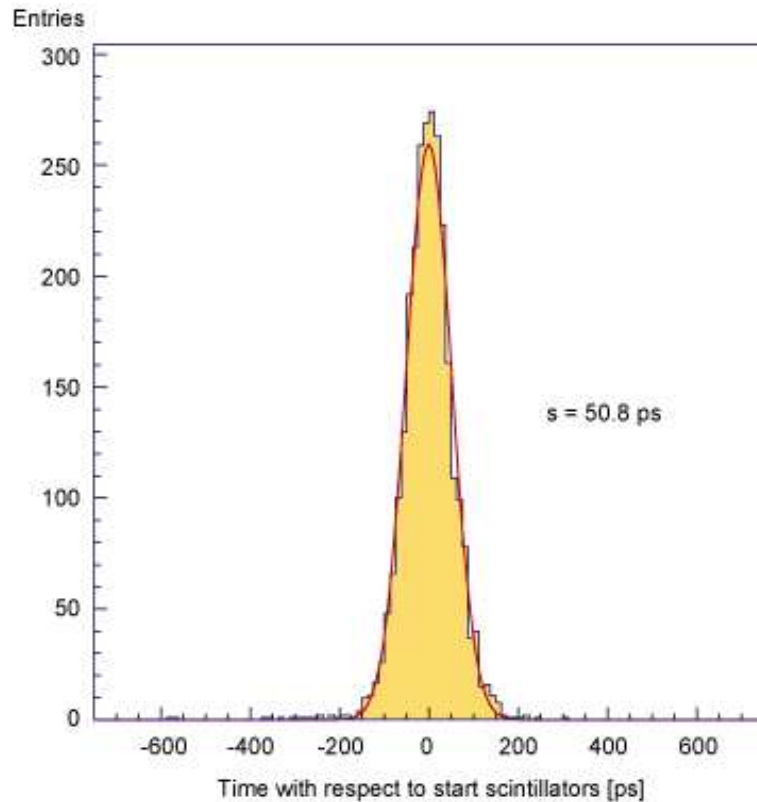
⇒ maksymalizacja efektywności



Liczniki czasu przelotu

ALICE

Rozdzielczość czasowa i efektywność rejestracji cząstek

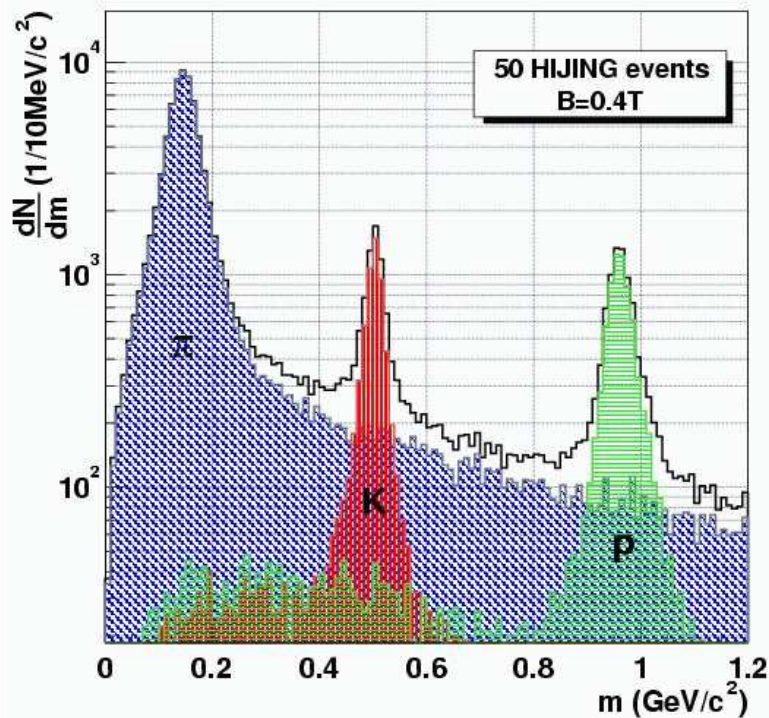


Liczniki czasu przelotu

ALICE

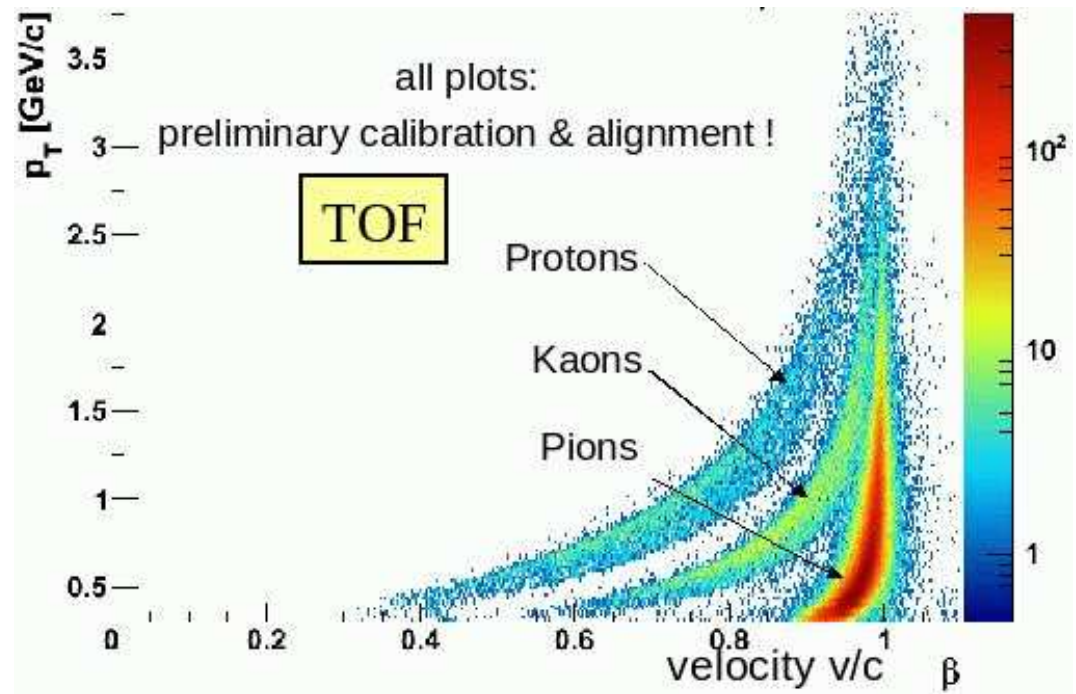
Rekonstruowana masa (TPC+TOF)

Wyniki symulacji MC:



Pęd cząstki vs zmierzona prędkość

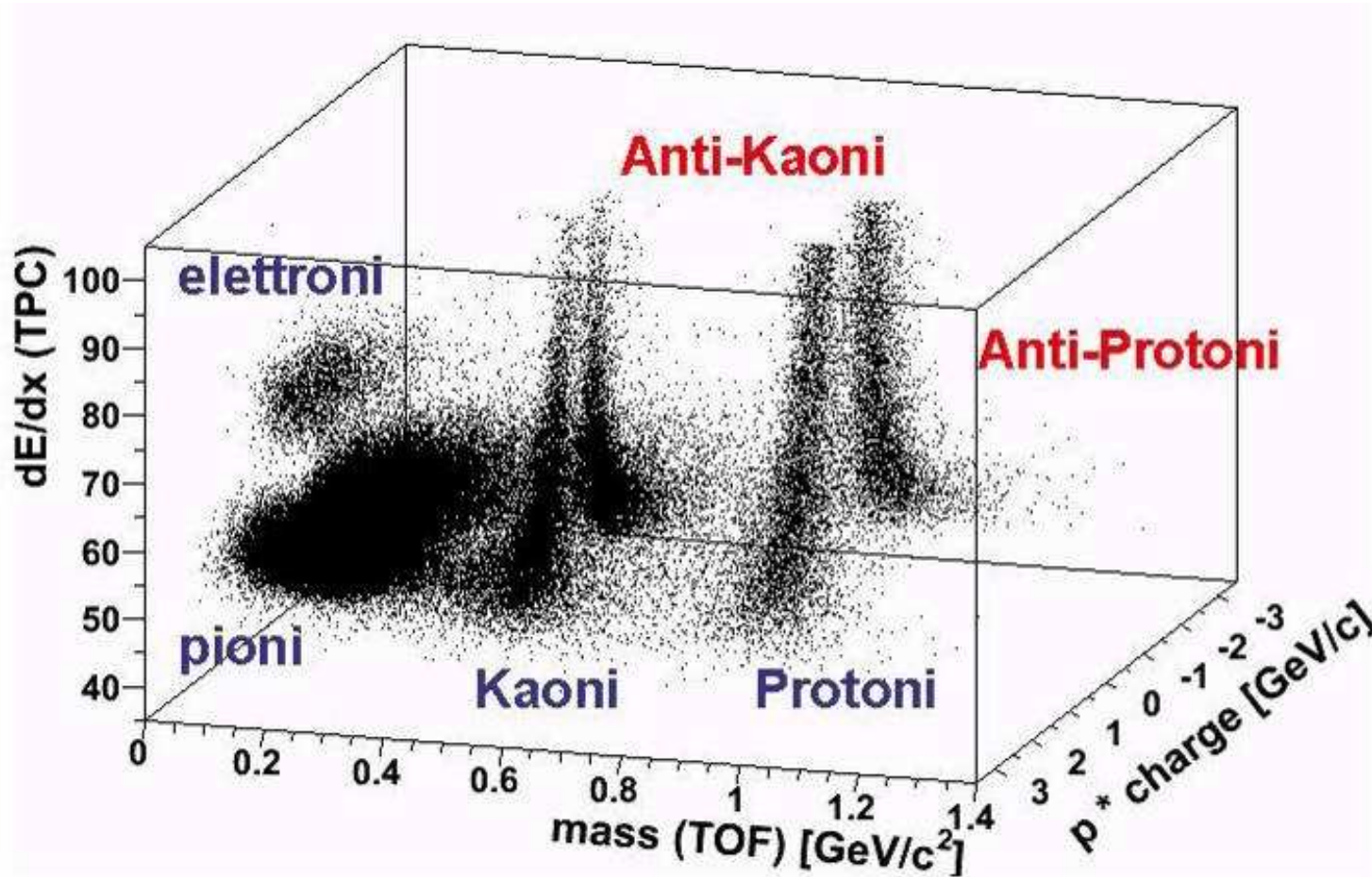
Pierwsze dane z LHC:



Liczniki czasu przelotu

ALICE

Informacja z liczników TOF może być połączona z pomiarem $\frac{dE}{dx}$ i p_T w TPC:

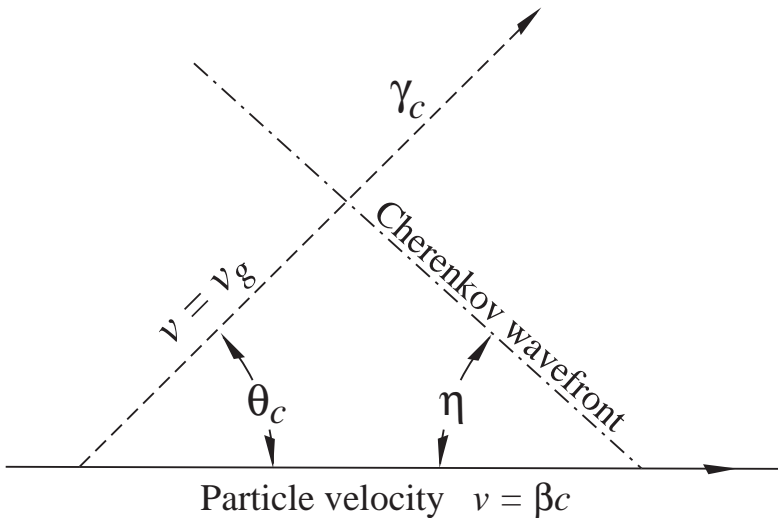


Promieniowanie Czerenkowa

Jeśli cząstka porusza się w ośrodku z prędkością większą niż prędkość światła ($\beta > \frac{1}{n}$) **wzbudzone atomy** mogą wypromieniować **niewielką część** traconej energii w postaci spójnej fali.

Kąt emisji promieniowania:

$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta}$$



Widmo promieniowania jest ciągłe.

Liczba emitowanych fotonów na jednostkę energii:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 N_\gamma}{dE_\gamma dx} &= \frac{\alpha z^2}{\hbar c} \sin^2 \theta_c \\ &\approx 370 \frac{1}{\text{eV} \cdot \text{cm}} \cdot \sin^2 \theta_c \end{aligned}$$

Pomiar kąta rozwarcia stożka pozwala na bezpośredni pomiar prędkości cząstki!

Identyfikacja cząstek

Progowe detektory Czerenkowa

Promieniowanie Czerenkowa emitowane jest tylko gdy $\beta > \frac{1}{n}$.

Liczba emitowanych fotonów

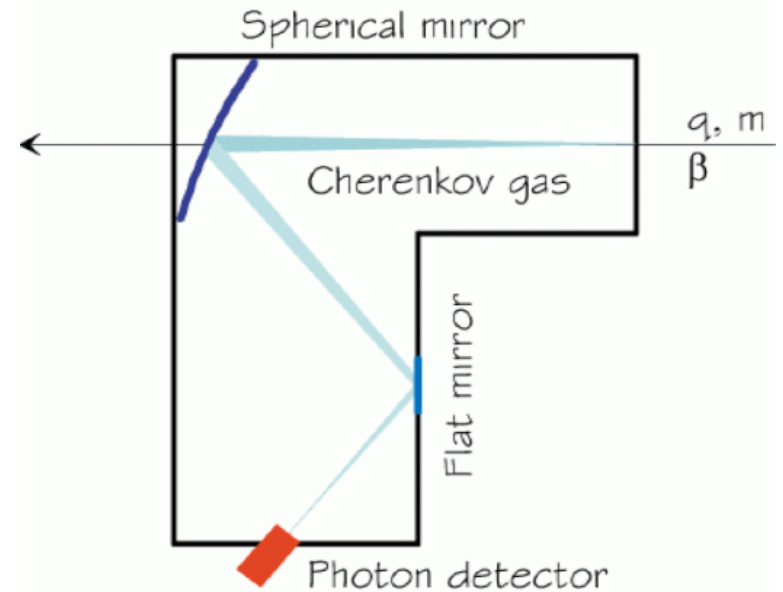
$$N_{ph} \sim \sin^2 \theta = 1 - \frac{1}{n^2 \beta^2}$$

rośnie szybko powyżej progu.

⇒ “tagowanie” cząstek powyżej progu

⇒ efektywna rozróżnianie cząstek o różnych masach

Najczęściej stosuje się układy kilku liczników o różnych n ⇒ możliwość identyfikacji w szerszym zakresie pędów

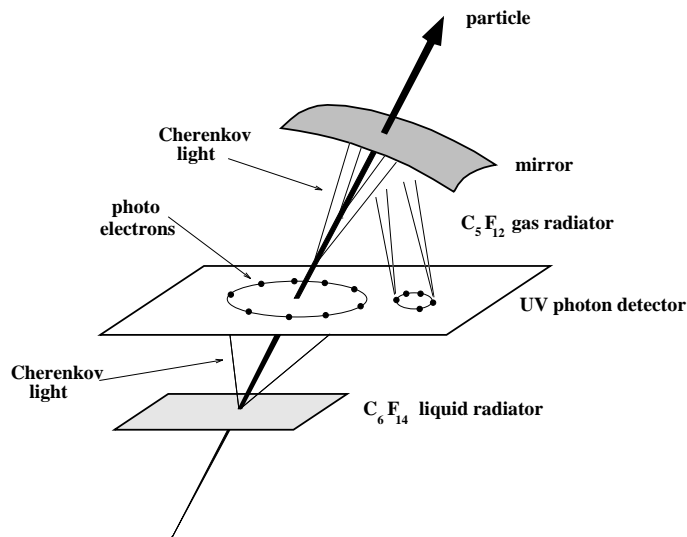


materiał	$n-1$	γ_{thr}
kwarc	0.46	1.37
woda	0.33	1.52
aerożel	0.025-0.075	2.7-4.6
izobutan	0.00127	19.9
powietrze	$2.8 \cdot 10^{-4}$	41.2
hel	$3.3 \cdot 10^{-5}$	123

Identyfikacja cząstek

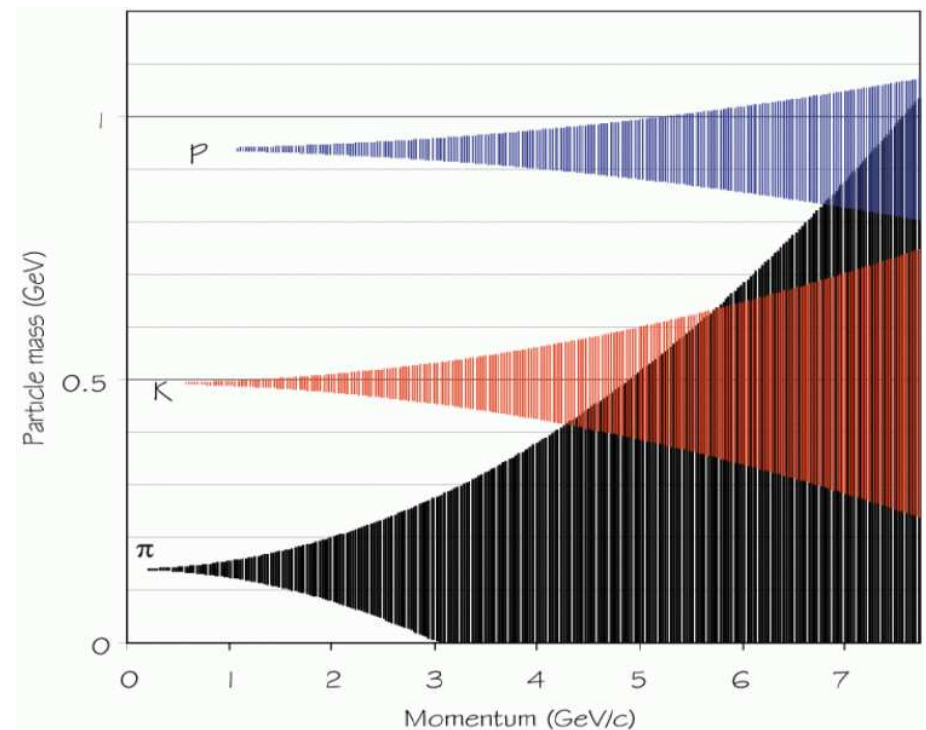
Detektory RICH Ring Imaging CHerenkov detector

Jeśli światło emitowane przez cząstkę skierujemy na zwierciadło wklęsłe to otrzymamy obraz w kształcie okręgu w płaszczyźnie ogniskowej.

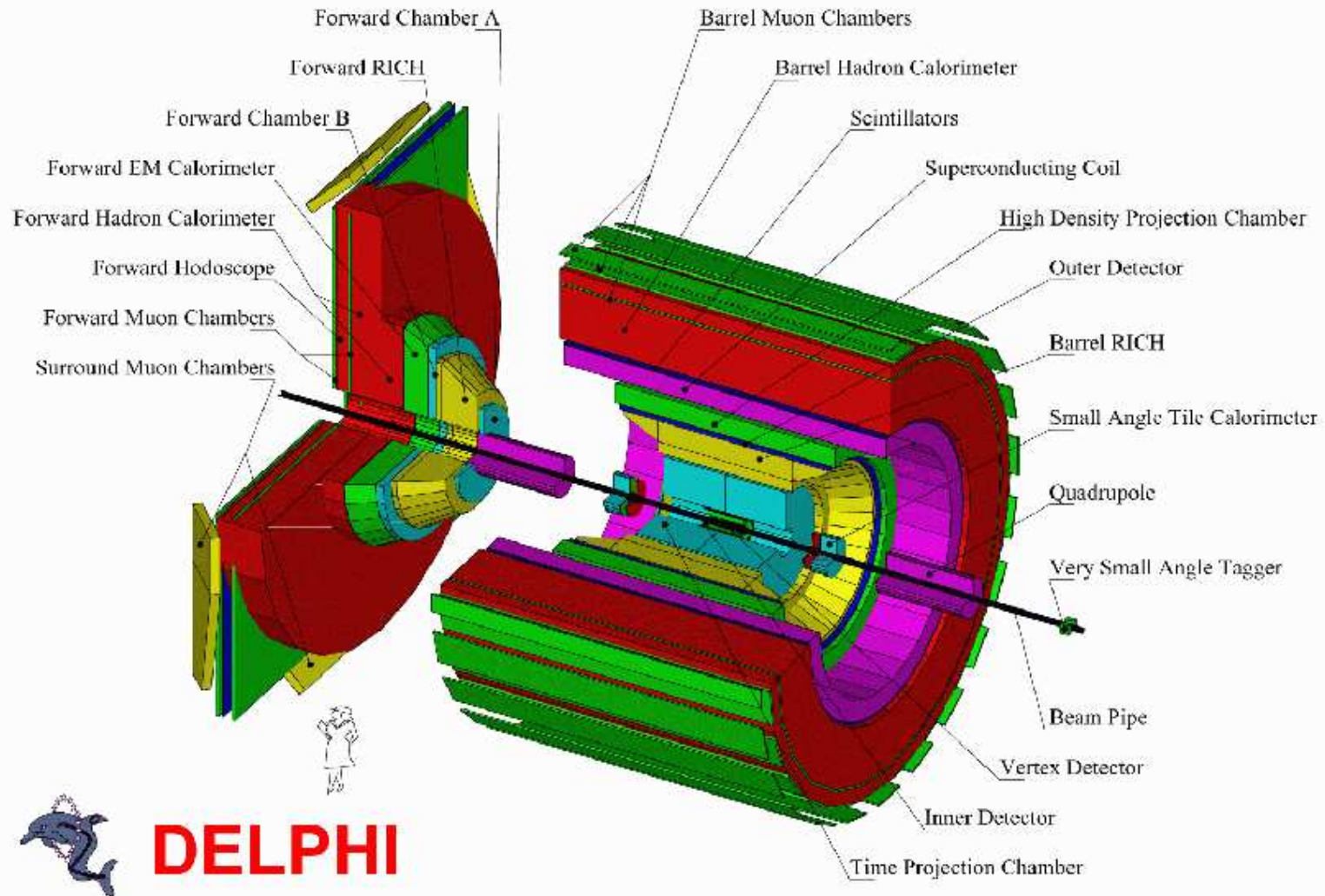


Rozmiar okręgu pozwala wyznaczyć kąt emisji promieniowania \Rightarrow prędkość

Przykład: $n = 1.333$, $\sigma_\theta = 15 \text{ mrad}$,
 $\frac{\sigma_p}{p^2} = 5 \cdot 10^{-5}$



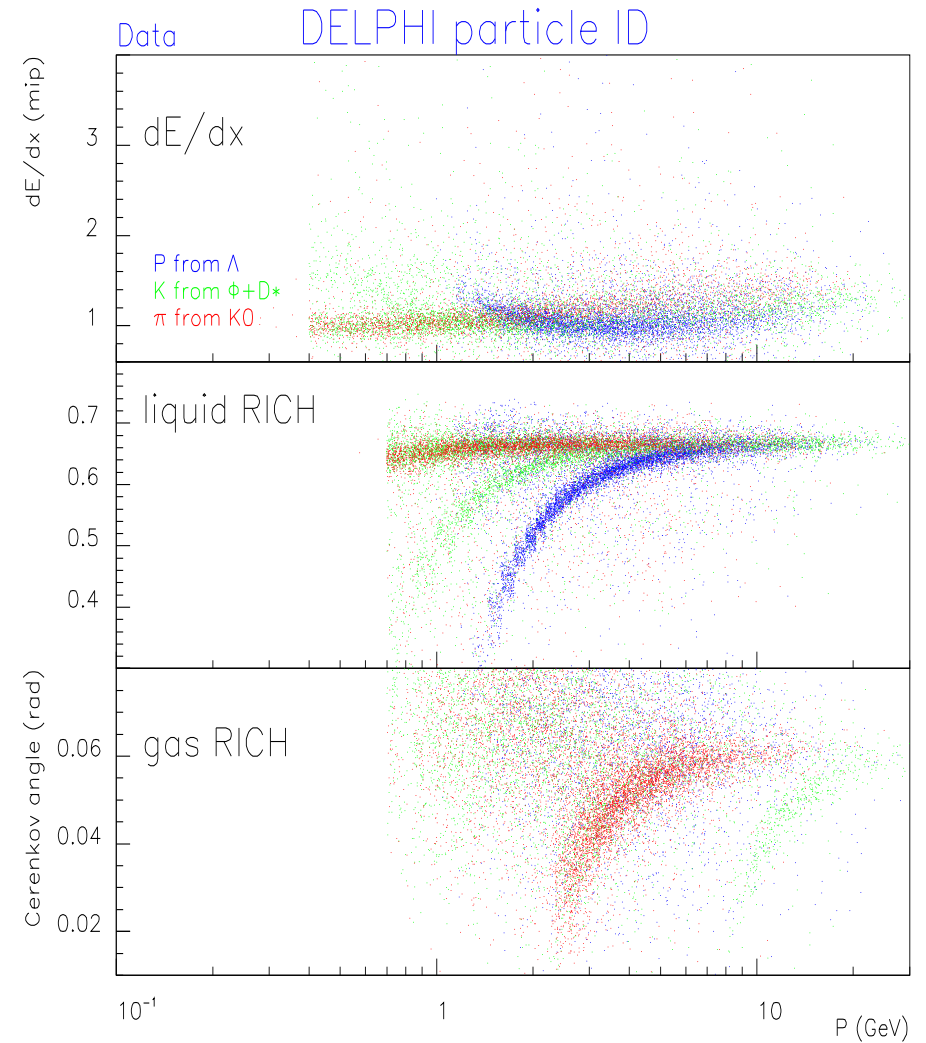
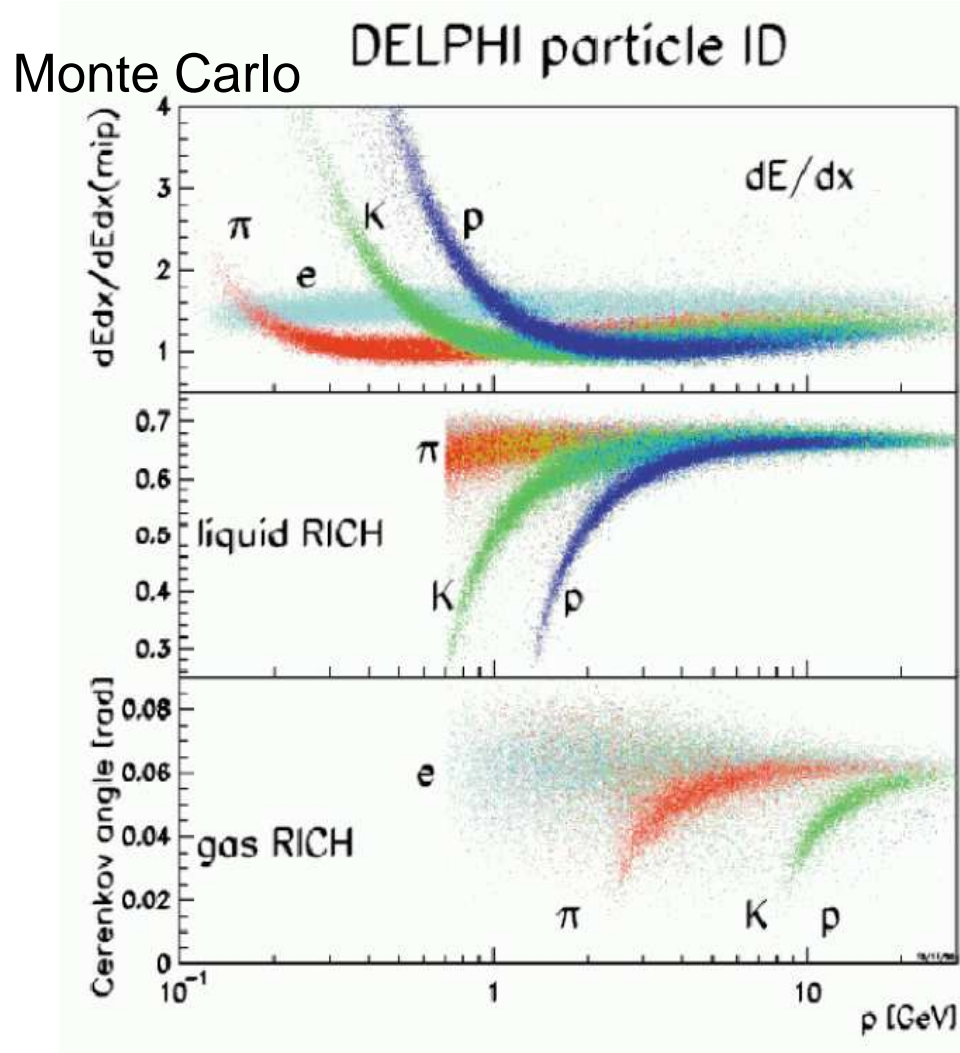
Identyfikacja cząstek



Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

@ DELPHI

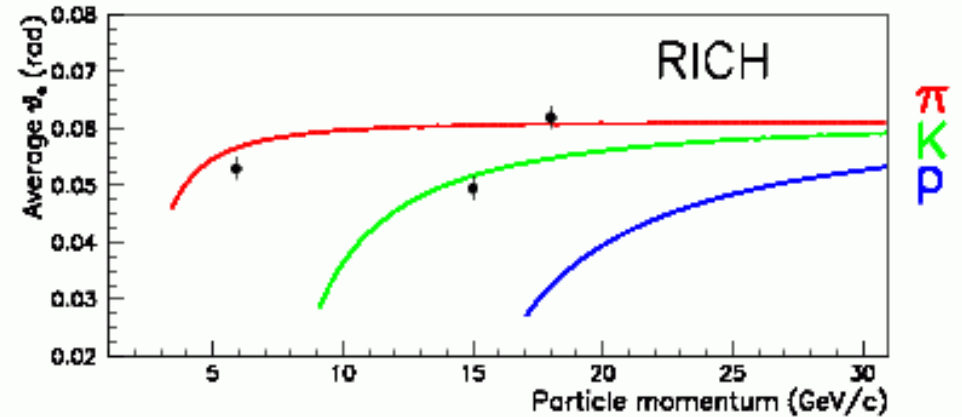
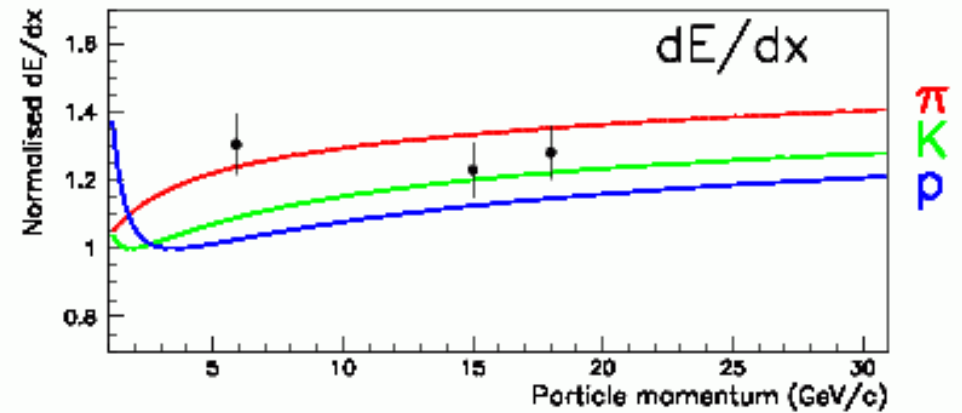
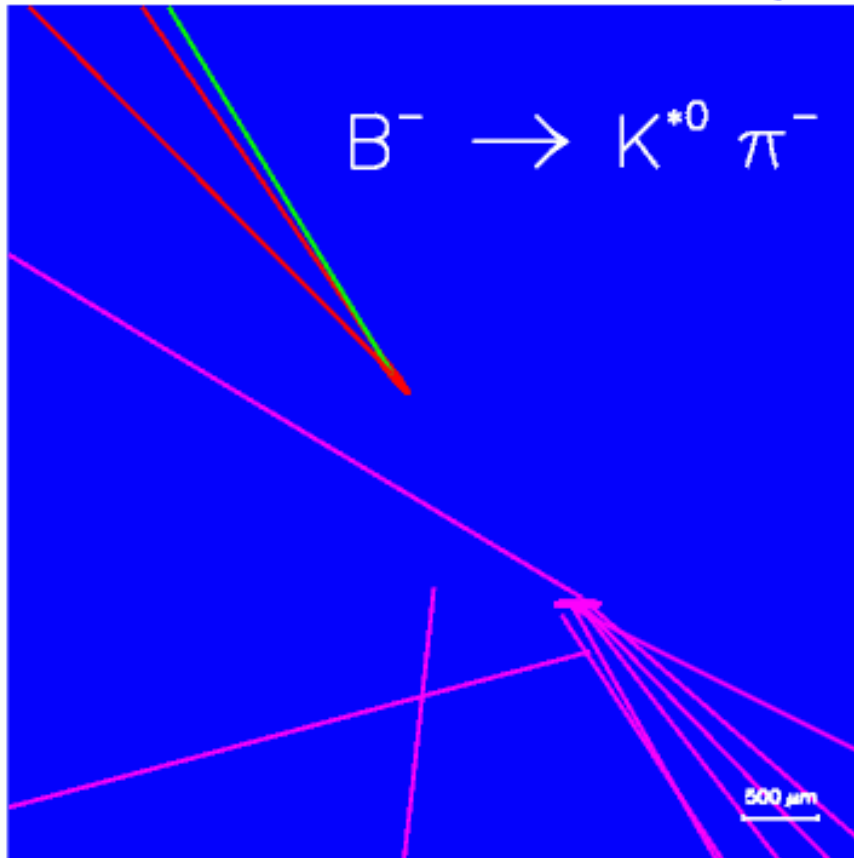


Identyfikacja cząstek

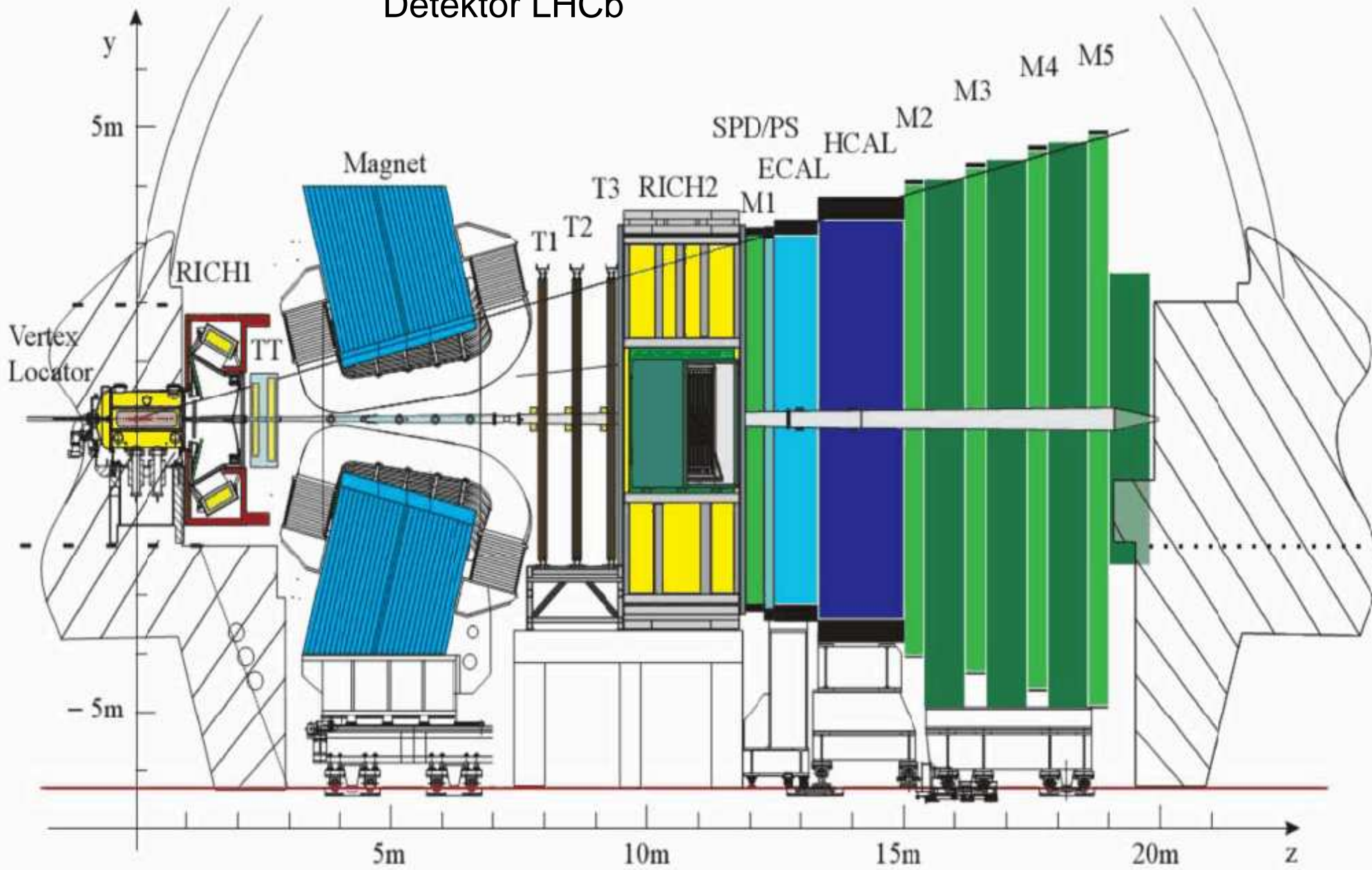
Przykład rekonstrukcji rozpadu $B^- \rightarrow K^{*0} \pi^- \rightarrow K^- \pi^+ \pi^-$ w oparciu o RICH

DELPHI Vertex Display

Run: 41541 Event: 1181



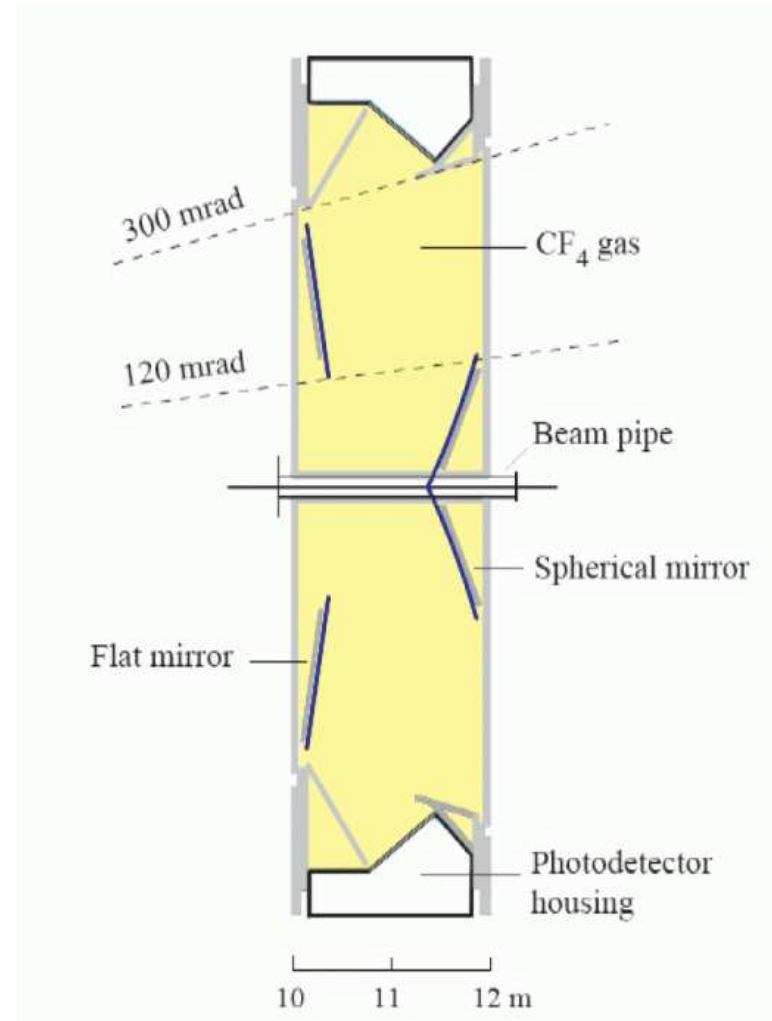
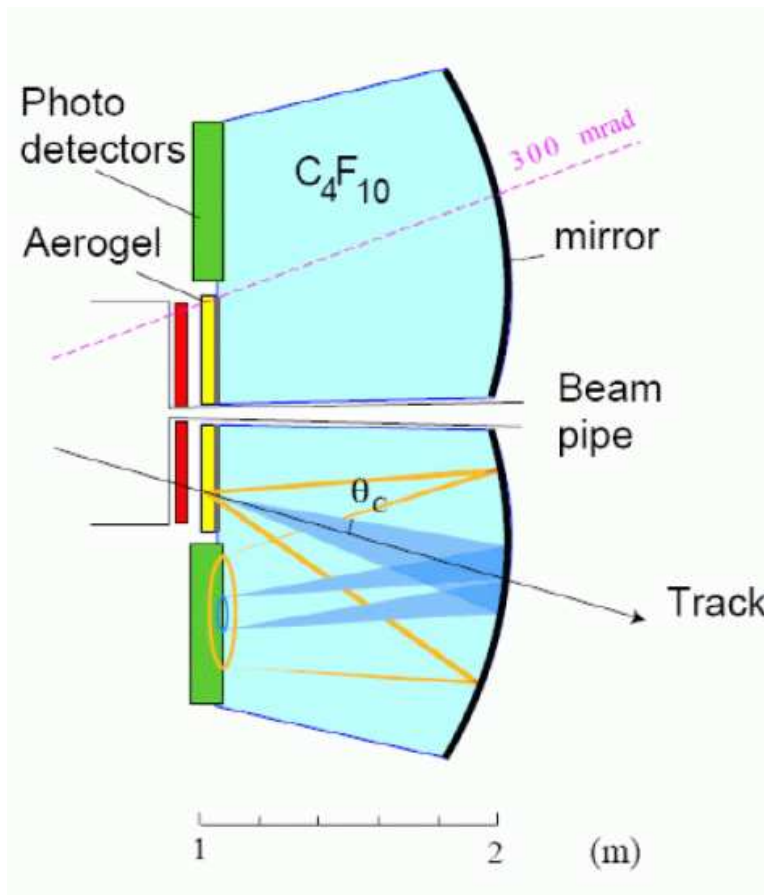
Detektor LHCb



Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

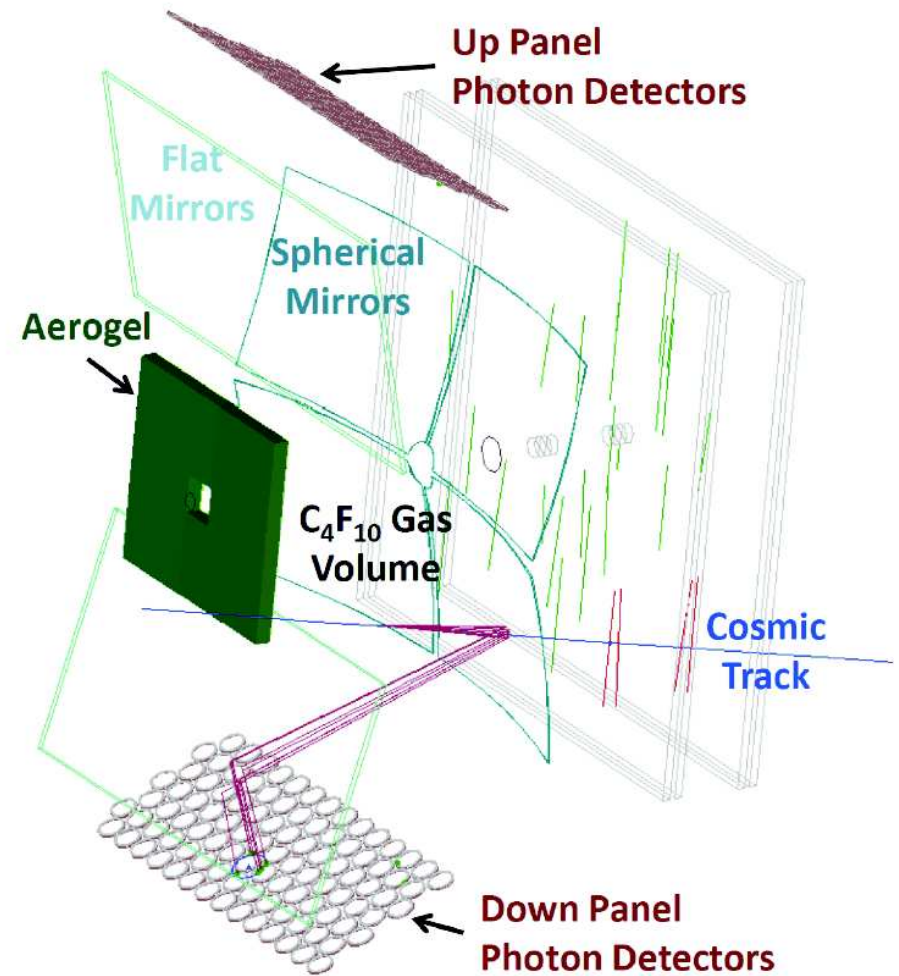
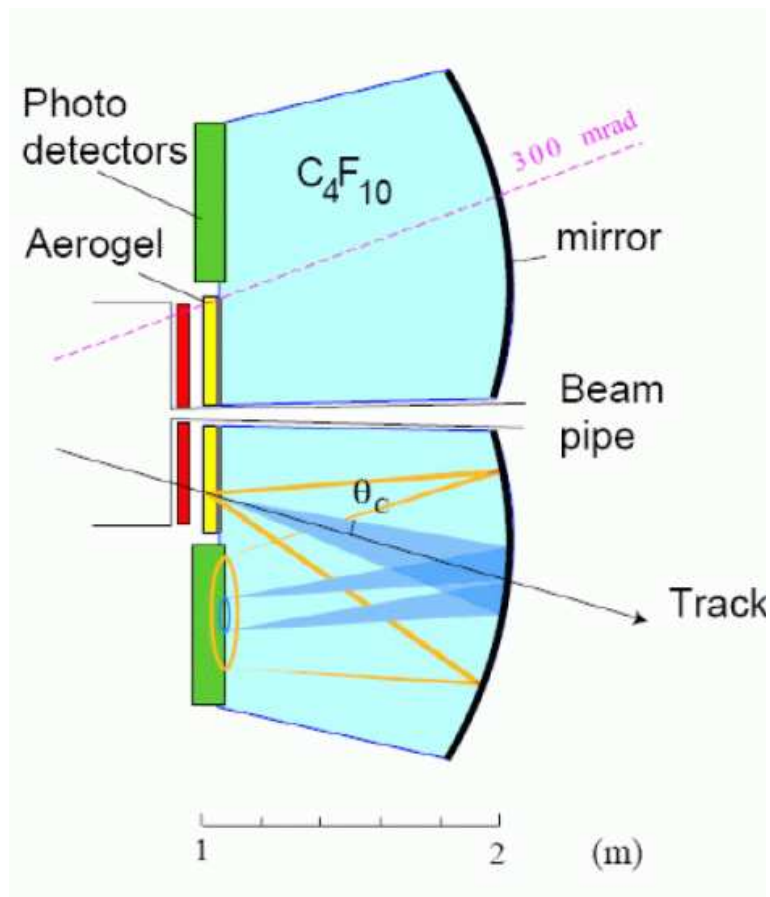
@ LHCb



Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

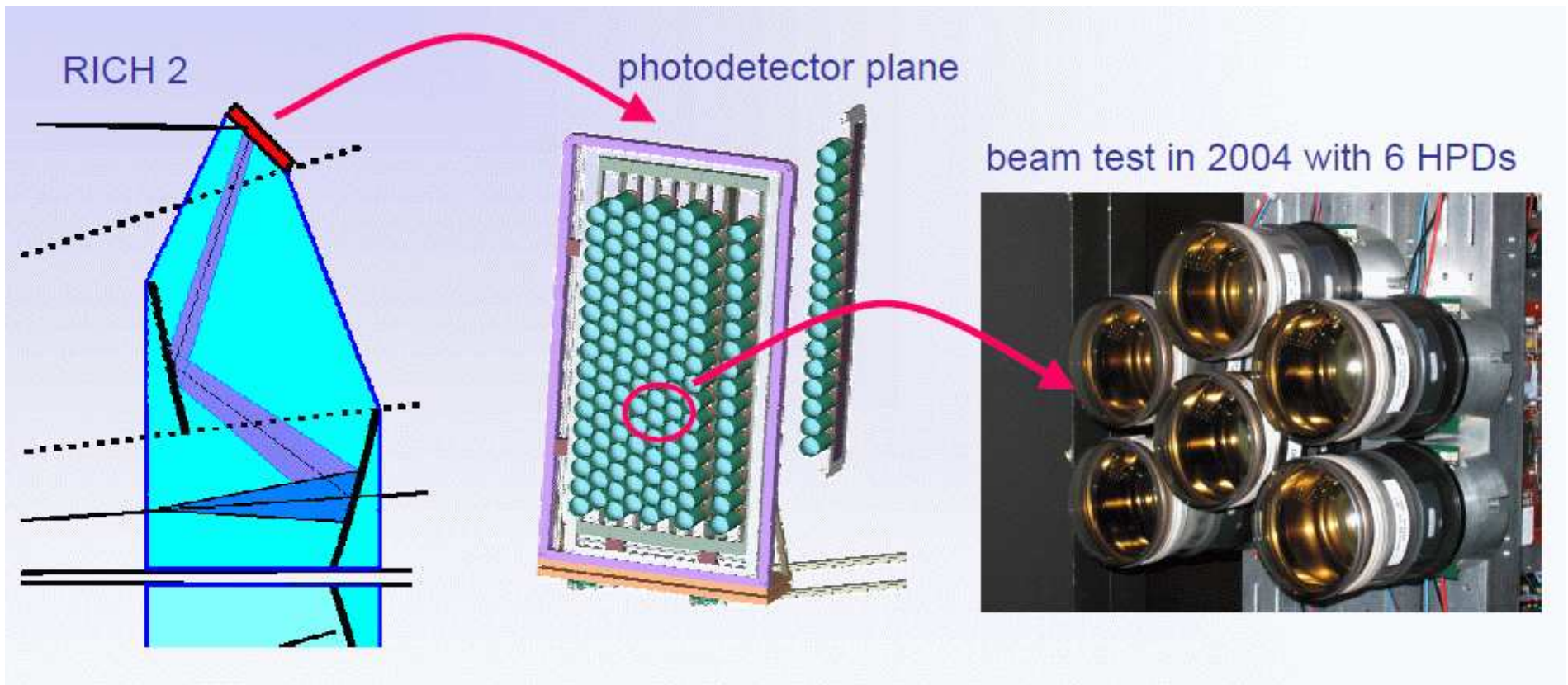
@ LHCb



Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

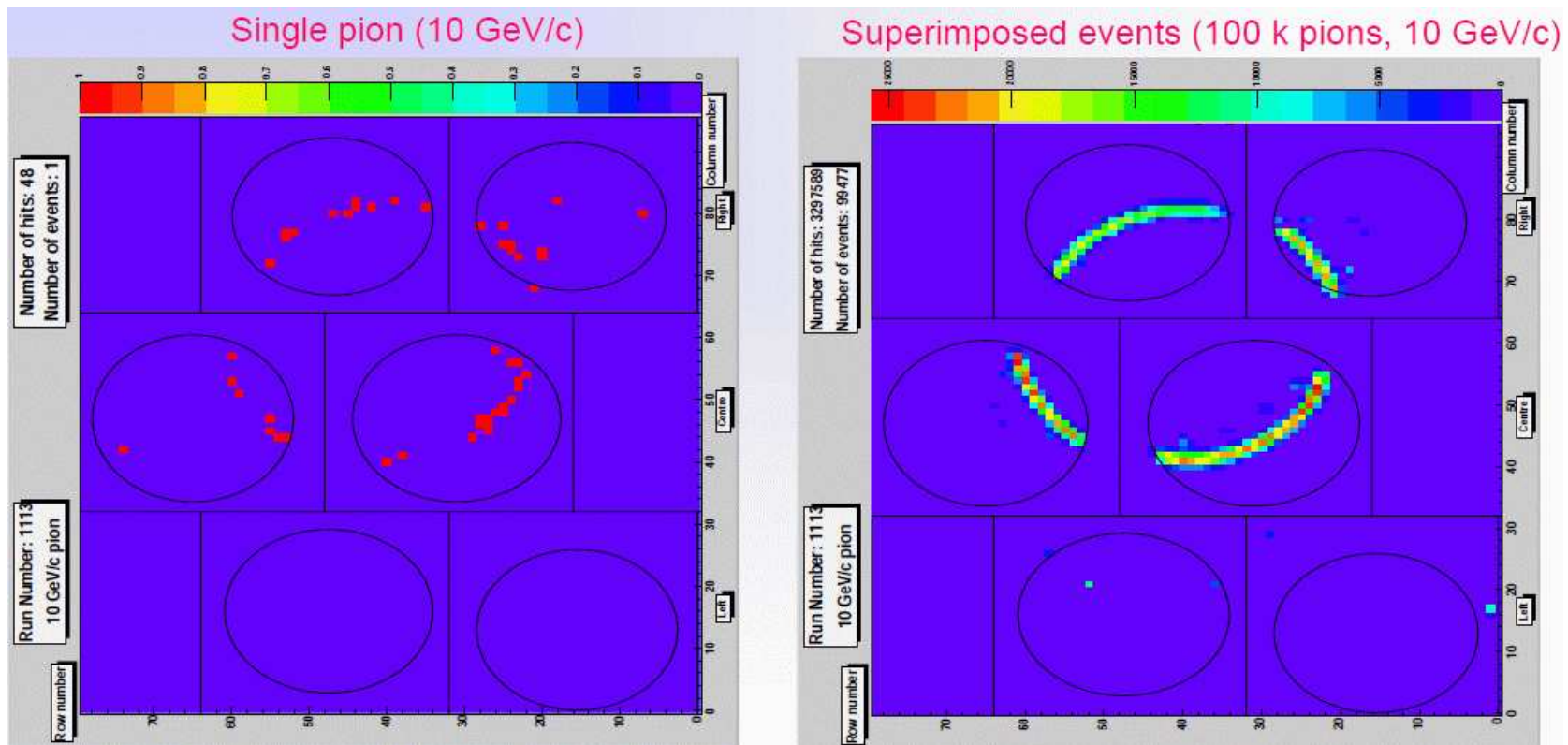
@ LHCb



Identyfikacja cząstek

LHCb

Przypadki z detektora RICH z radiatorem C_4F_{10} na wiązce testowej

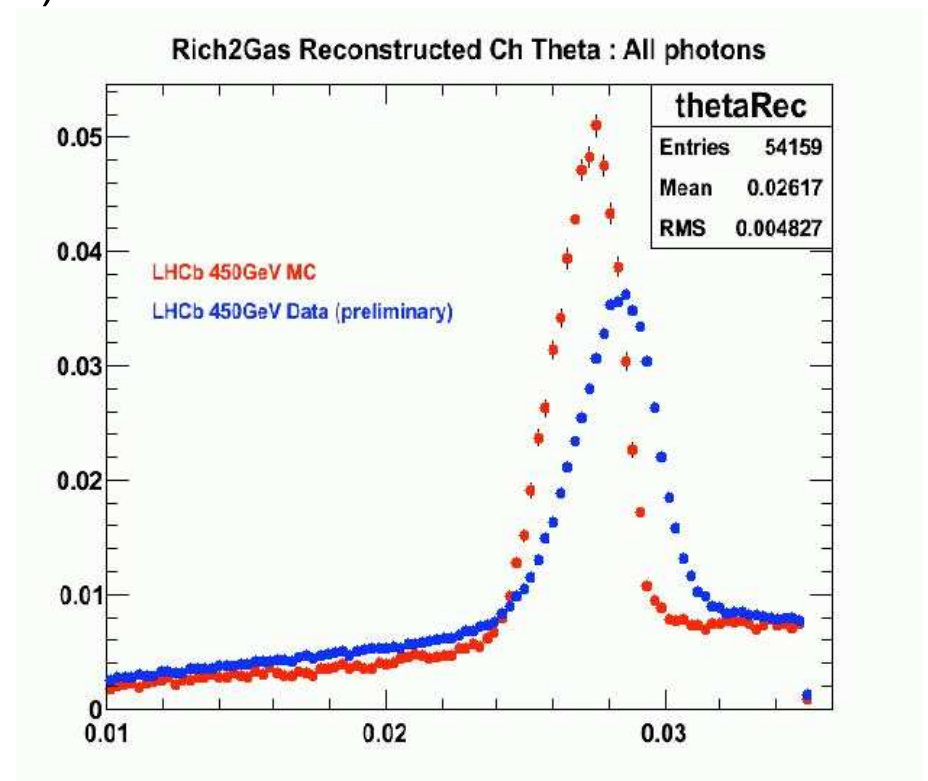
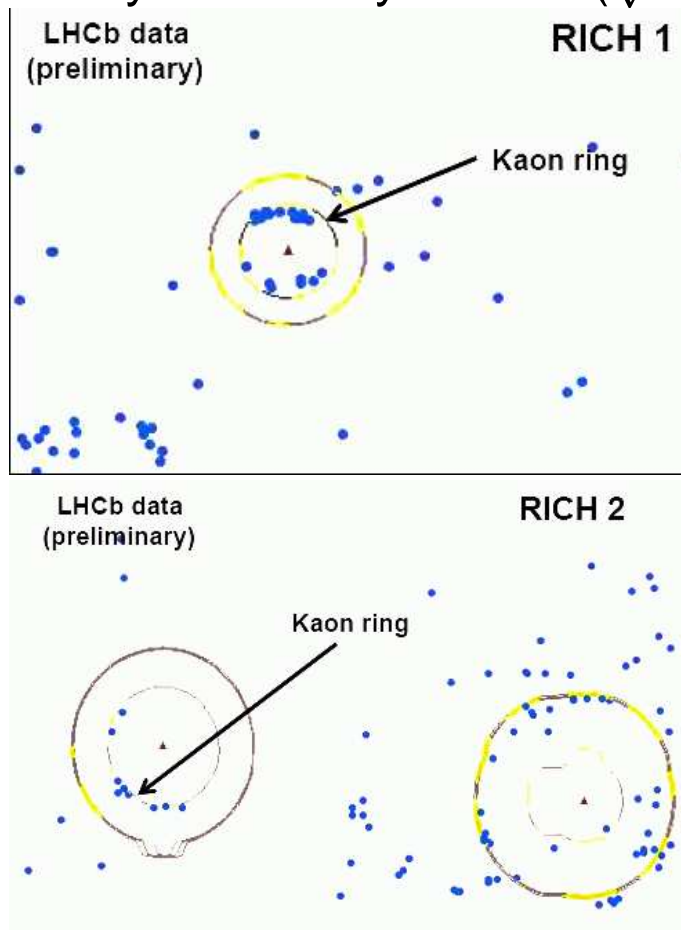


Pojedyncza cząstka: tylko kilkanaście punktów, ale wystarcza.

Identyfikacja cząstek

LHCb

Pierwsze wyniki z danych LHC ($\sqrt{s} = 900\text{GeV}$)



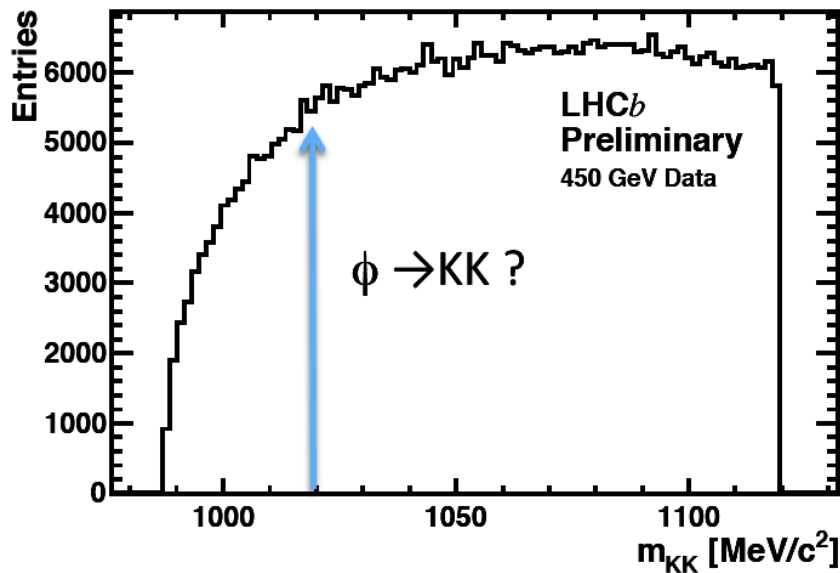
Porównanie z oczekiwanym kątem emisji
⇒ dyskryminacja π vs K

Identyfikacja cząstek

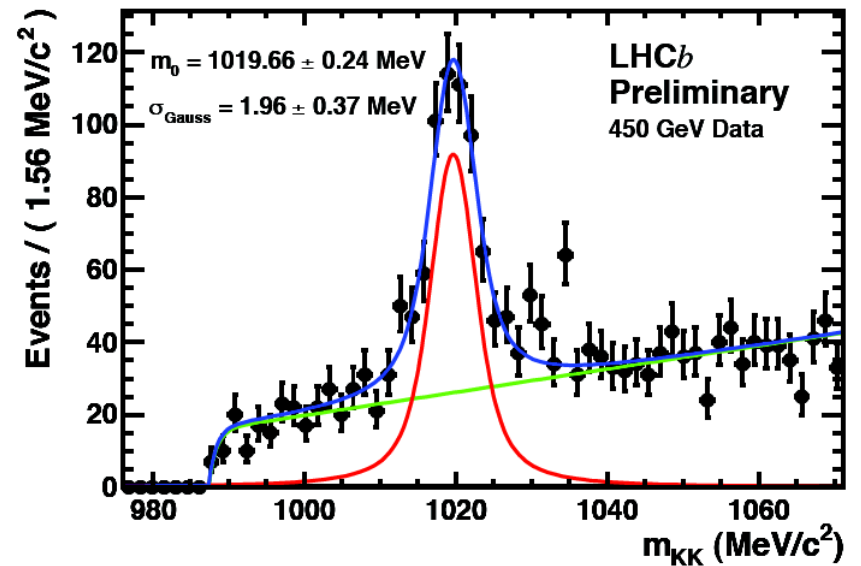
LHCb

Pierwsze wyniki z danych LHC ($\sqrt{s} = 900\text{GeV}$)

Rozkład masy niezmienniczej K^+K^-
(tylko cięcia kinematyczne)



Po dodaniu warunku identyfikacji w RICH

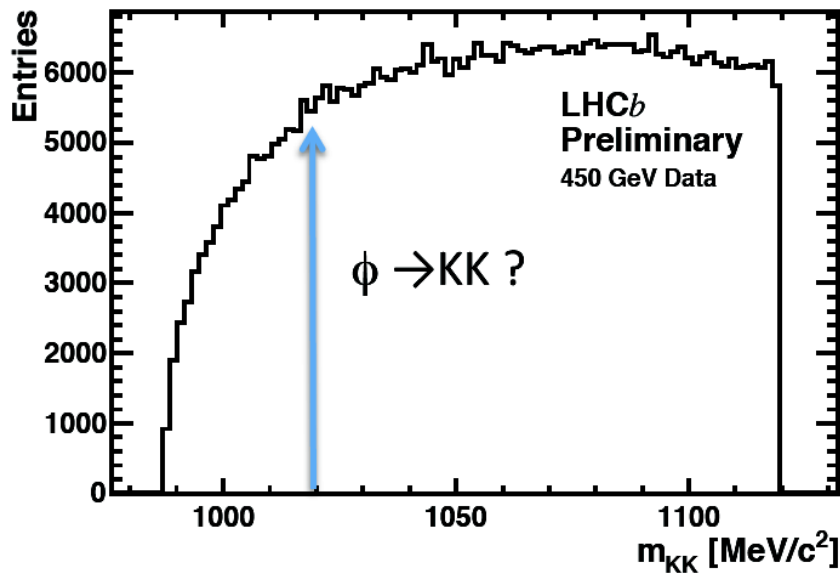


Identyfikacja cząstek

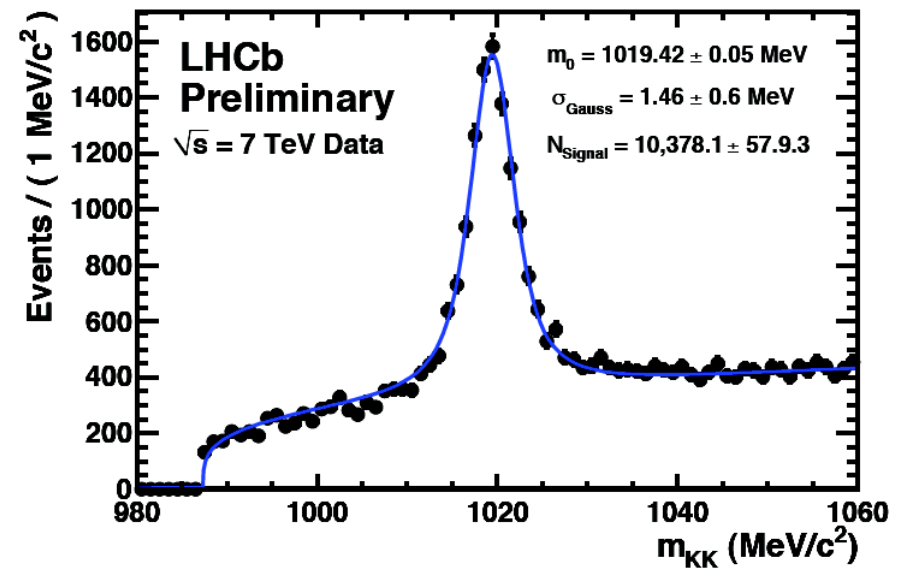
LHCb

Pierwsze wyniki z danych LHC

Rozkład masy niezmienniczej K^+K^-
(tylko cięcia kinematyczne)



Po dodaniu warunku identyfikacji w RICH

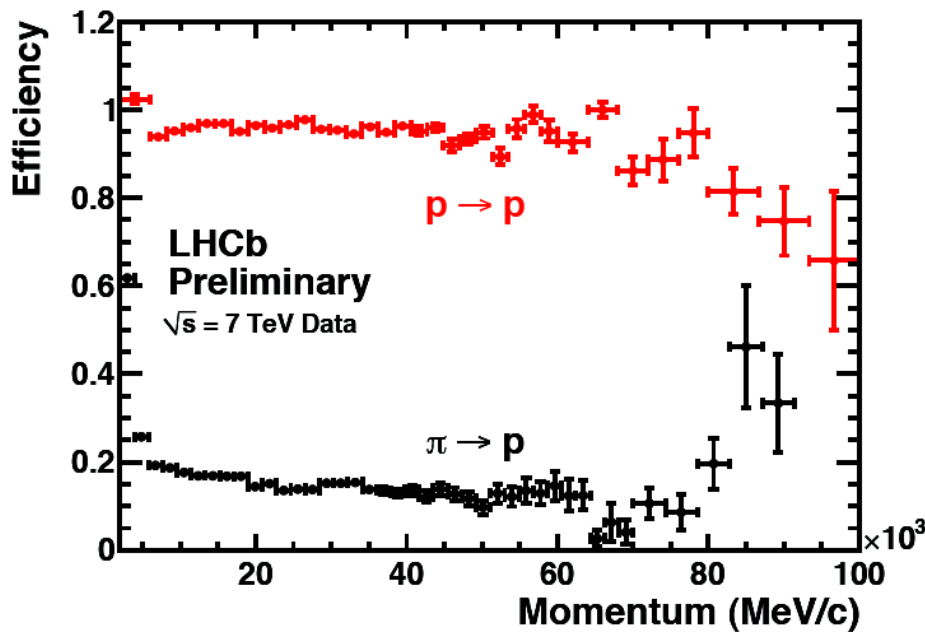


Identyfikacja cząstek

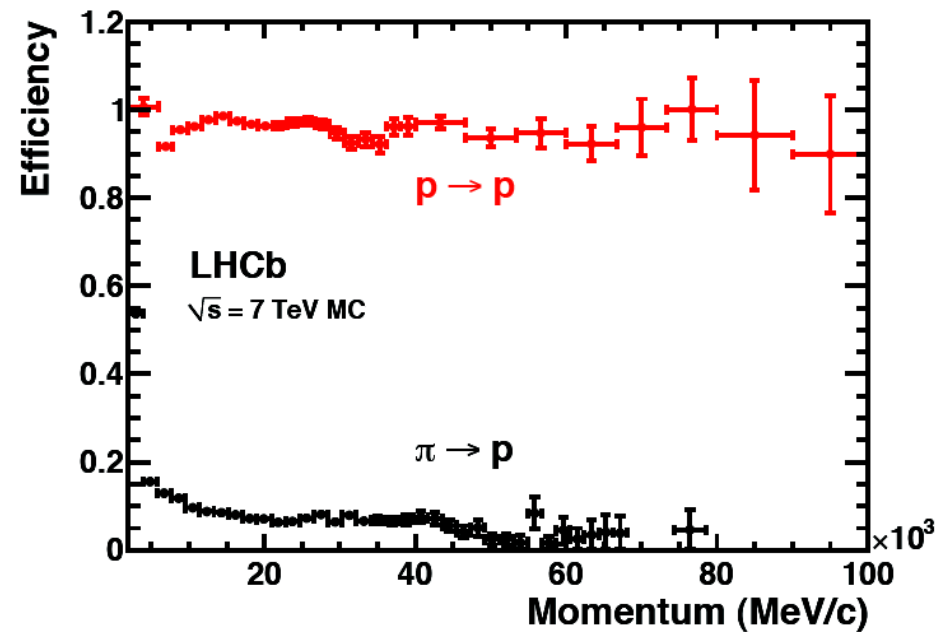
LHCb

Detektory RICH umożliwia identyfikację K^\pm i p w szerokim zakresie energii.

Data



Monte Carlo

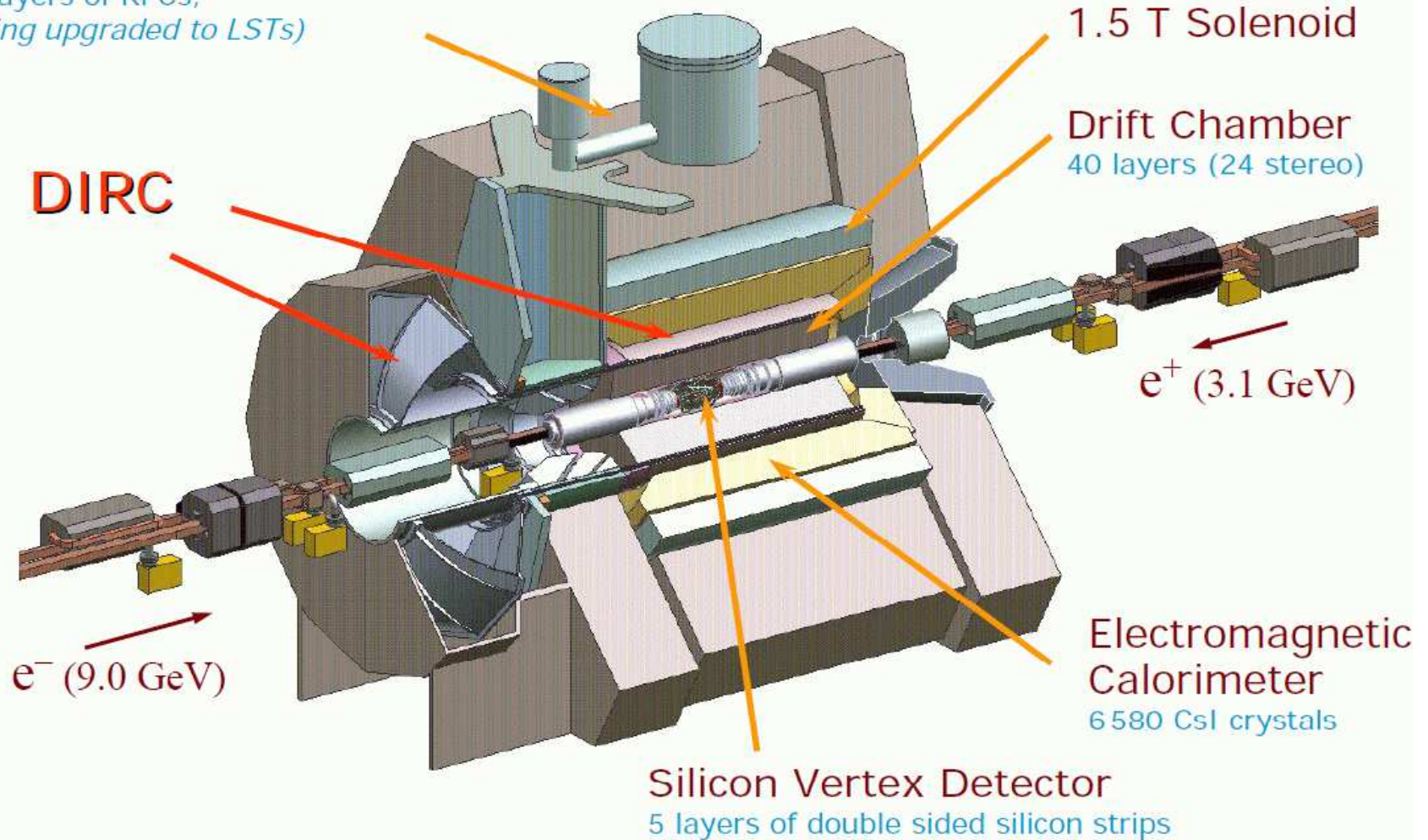


Identyfikacja cząstek

Detektor BaBar

Instrumented Flux Return

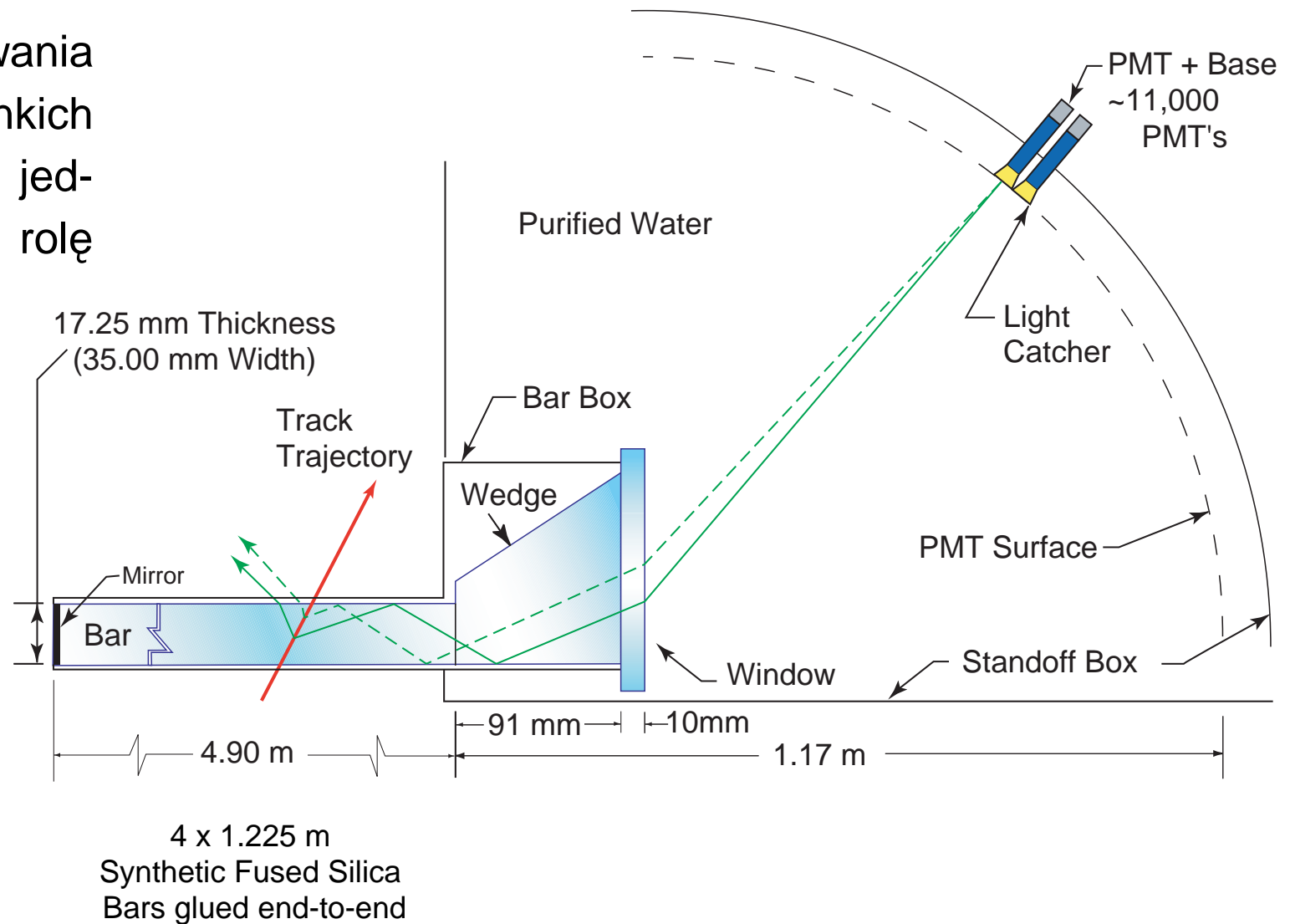
19 layers of RPCs,
(being upgraded to LSTs)



Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

Emisja promieniowania Czerenkowa w cienkich warstwach, które jednocześnie pełnią rolę światłowodów.



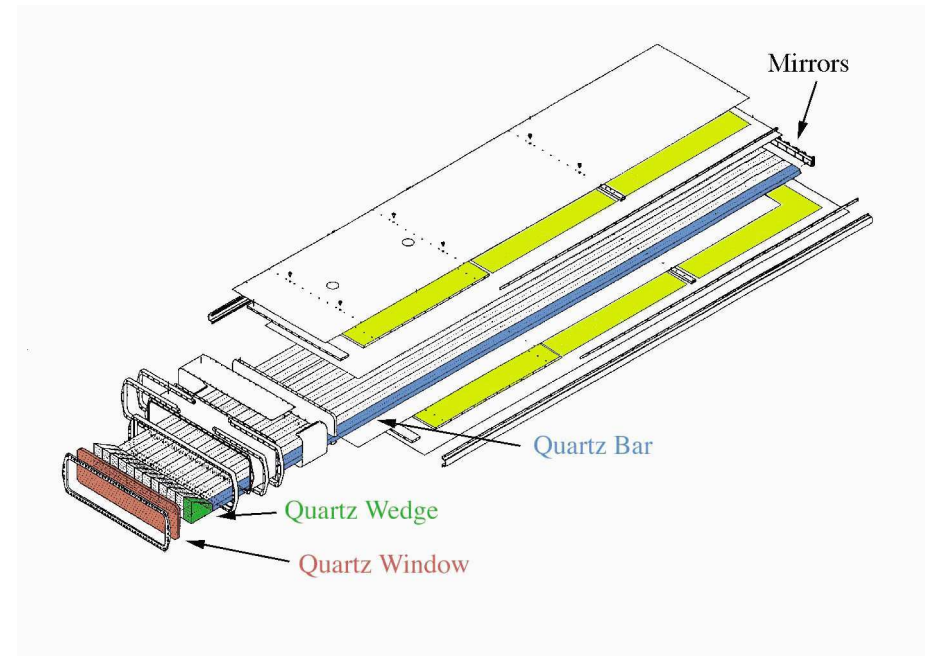
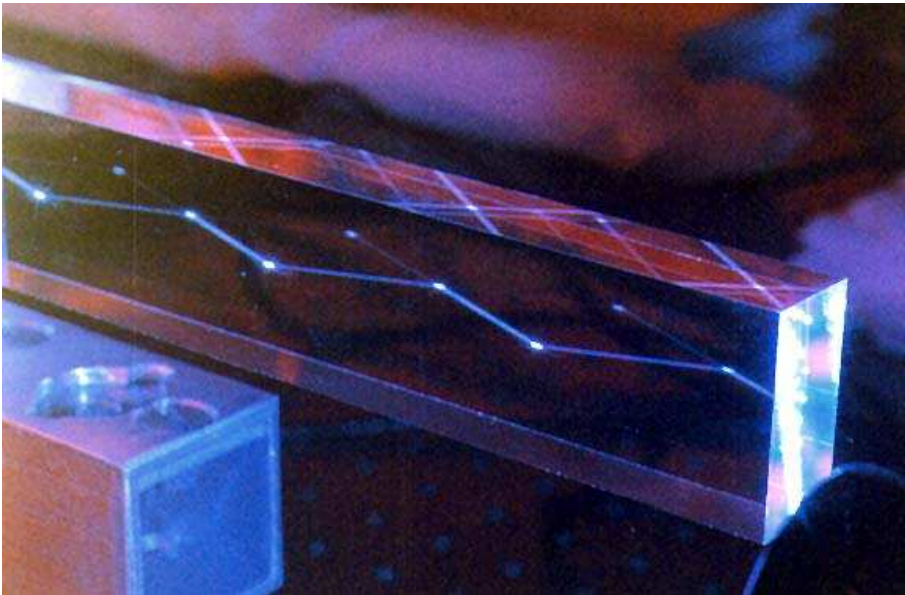
Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

DIRC: Detection of Internally Reflected Cherenkov light

Całkowite wewnętrzne odbicia w prostopadłościennym elemencie - stały kąt propagacji!

Informacja o kącie emisji promieniowania Czerenkowa może być “wyprowadzona” z centralnej części detektora - mniejsze rozmiary, mniej materiału przed kalorymetrami.



Identyfikacja cząstek

[DIRC @BaBar](#)

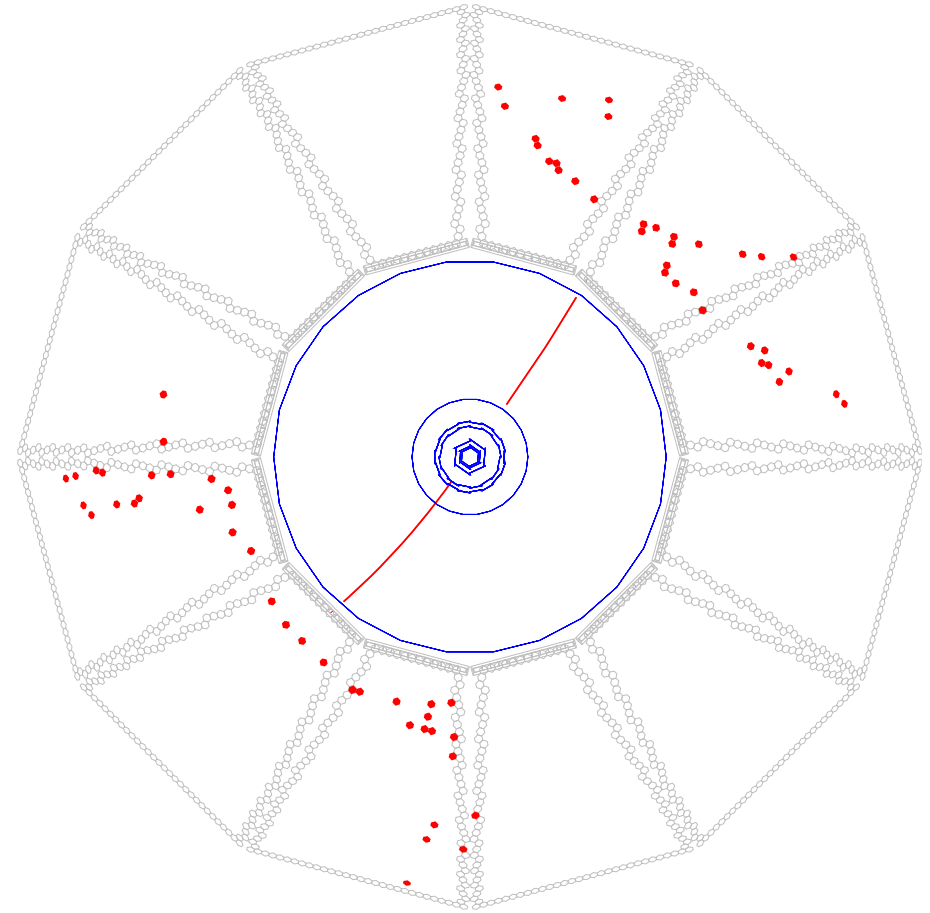
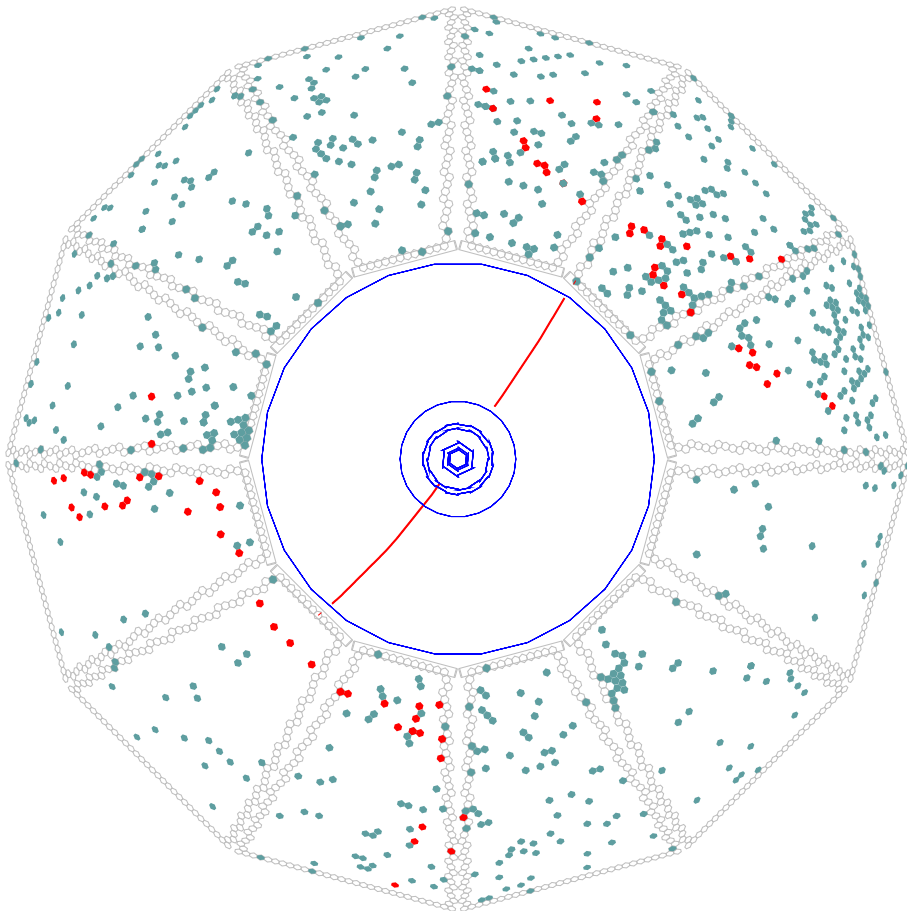
Widok płaszczyny fotopowielaczy i otwartego zbiornika wodnego



Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

Precyzyjny pomiar czasu ($\sigma_t \sim 1.7ns$) pozwala na istotną redukcję tła (cięcie $\pm 8ns$)



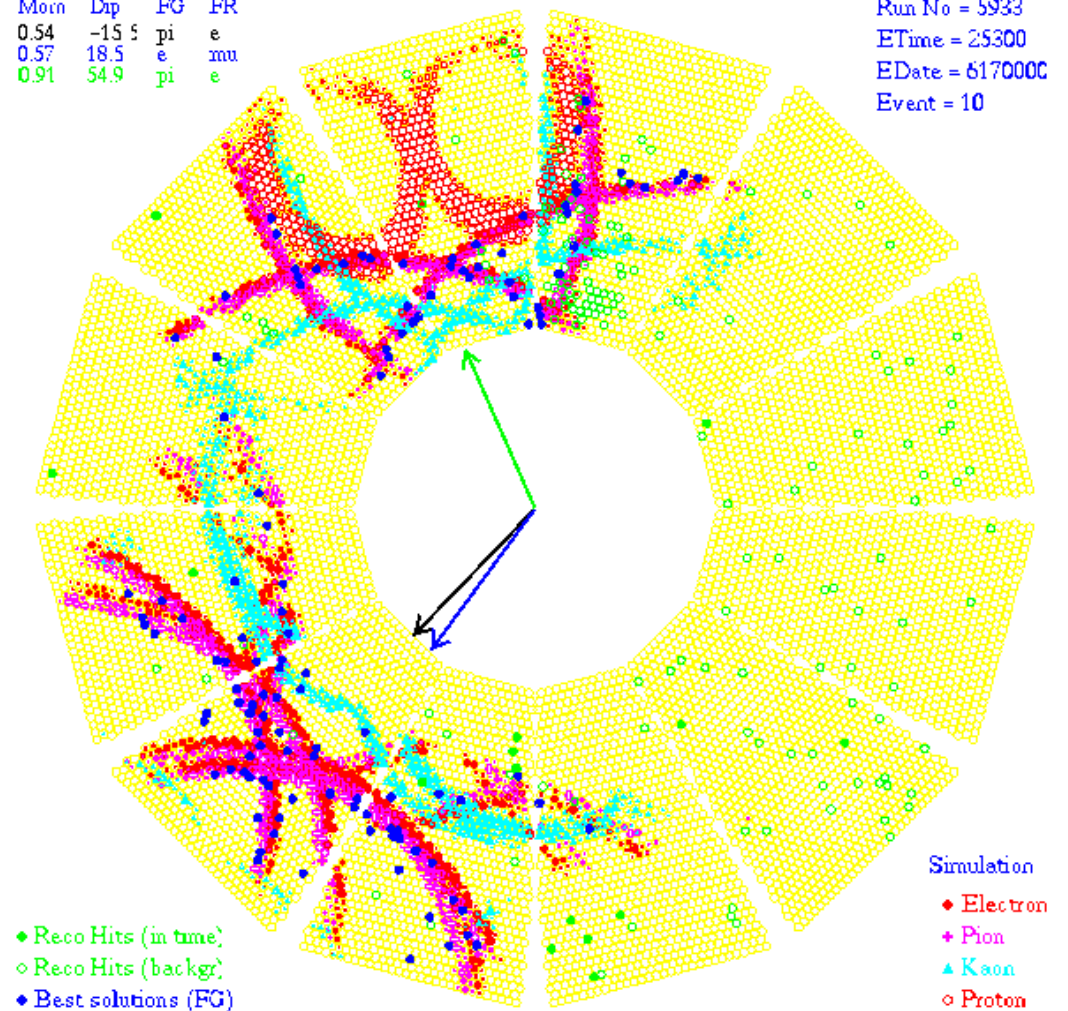
Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

Identyfikacja cząstki odbywa się poprzez porównanie mierzonego rozkładu światła z oczekiwaniami opartymi na symulacjach Monte Carlo.

Mom	Dip	FG	FR
0.54	-15.5	pi	e
0.57	18.5	e	mu
0.91	54.9	pi	e

Run No = 5933
ETime = 25300
EDate = 617000C
Event = 10



Identyfikacja cząstek

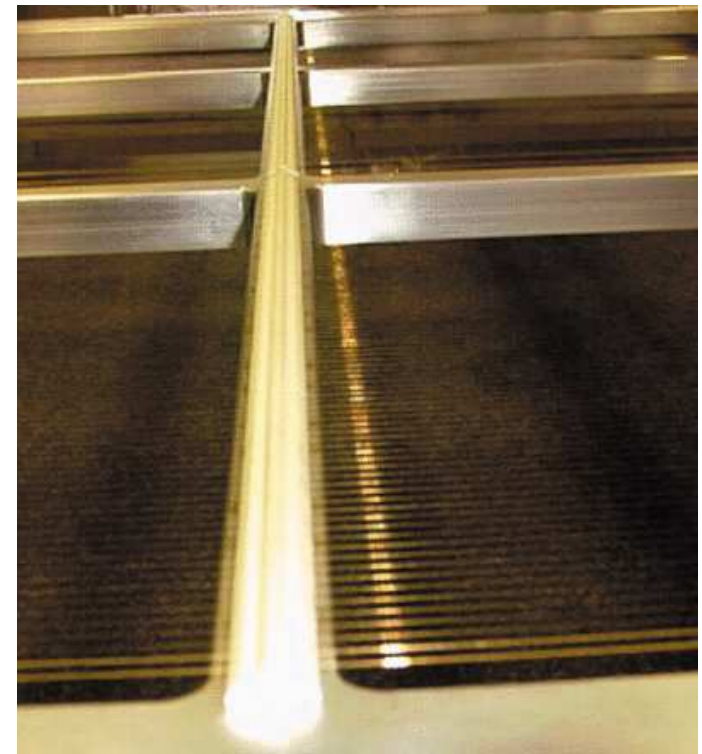
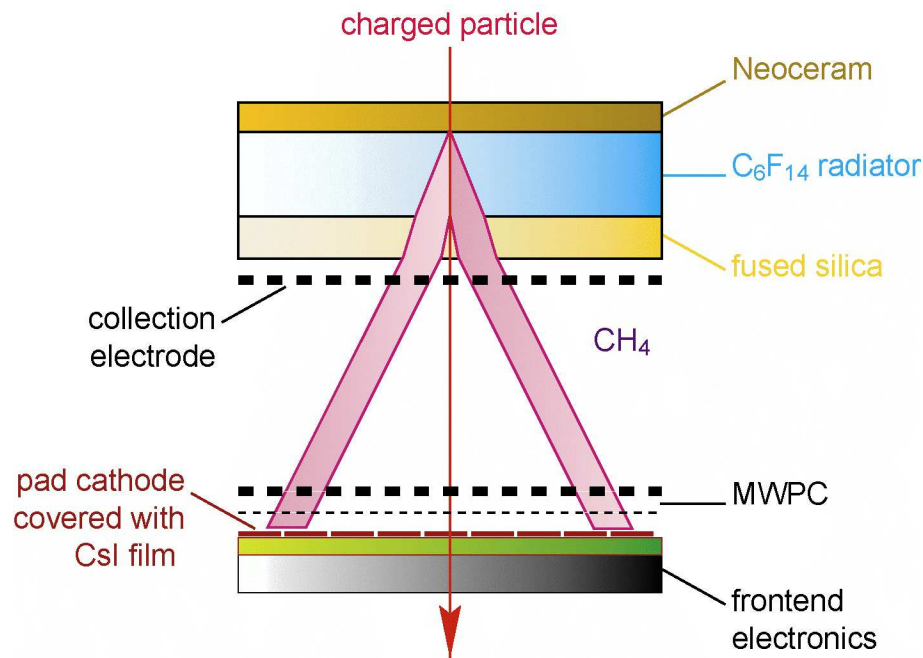
HMPID @ALICE

High Momentum Particle Identification

Fotony **promieniowania Czerenkowa** wybijają elektrony z fotokatody.

Elektrony są powielane w komorze wielodrutowej (MWPC).

Sygnal rejestrowany jest na katodzie podzielonej małe elementy - rekonstrukcja obrazu.



Identyfikacja cząstek

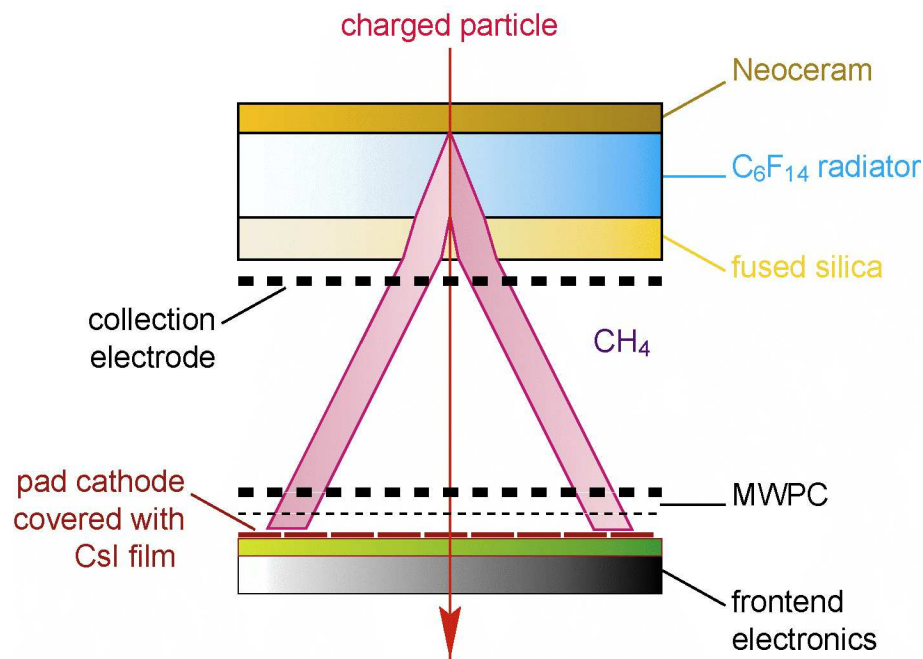
HMPID @ALICE

High Momentum Particle Identification

Fotony **promieniowania Czerenkowa** wybijają elektrony z fotokatody.

Elektrony są powielane w komorze wielodrutowej (MWPC).

Sygnal rejestrowany jest na katodzie podzielonej małe elementy - rekonstrukcja obrazu.



Identyfikacja cząstek

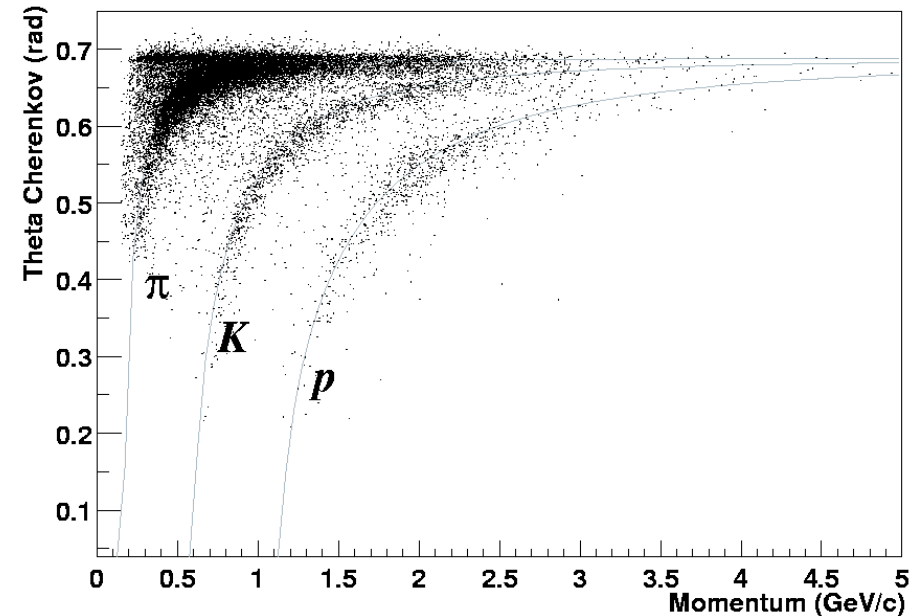
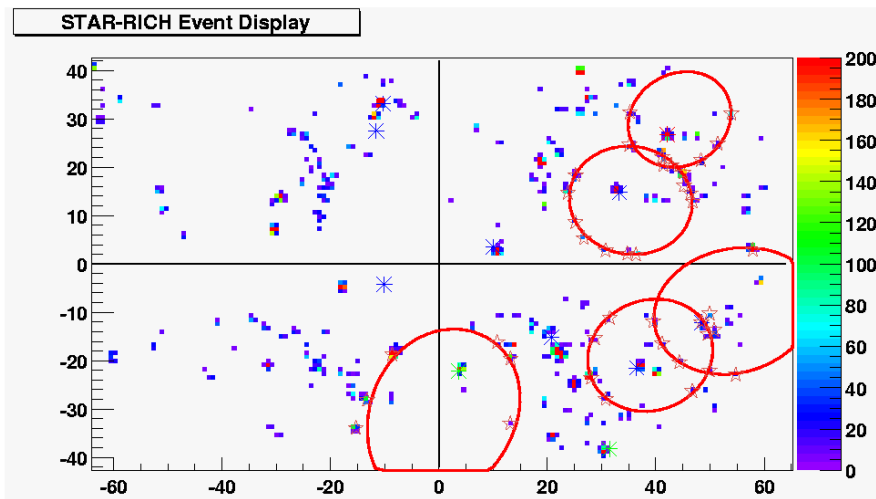
HMPID @ALICE

High Momentum Particle Identification

Testy prototypu przy akceleratorze RHIC

Pojedynczy przypadek i rekonstruowane stożki promieniowania

Rekonstruowany kąt emisji w funkcji pędu cząstki

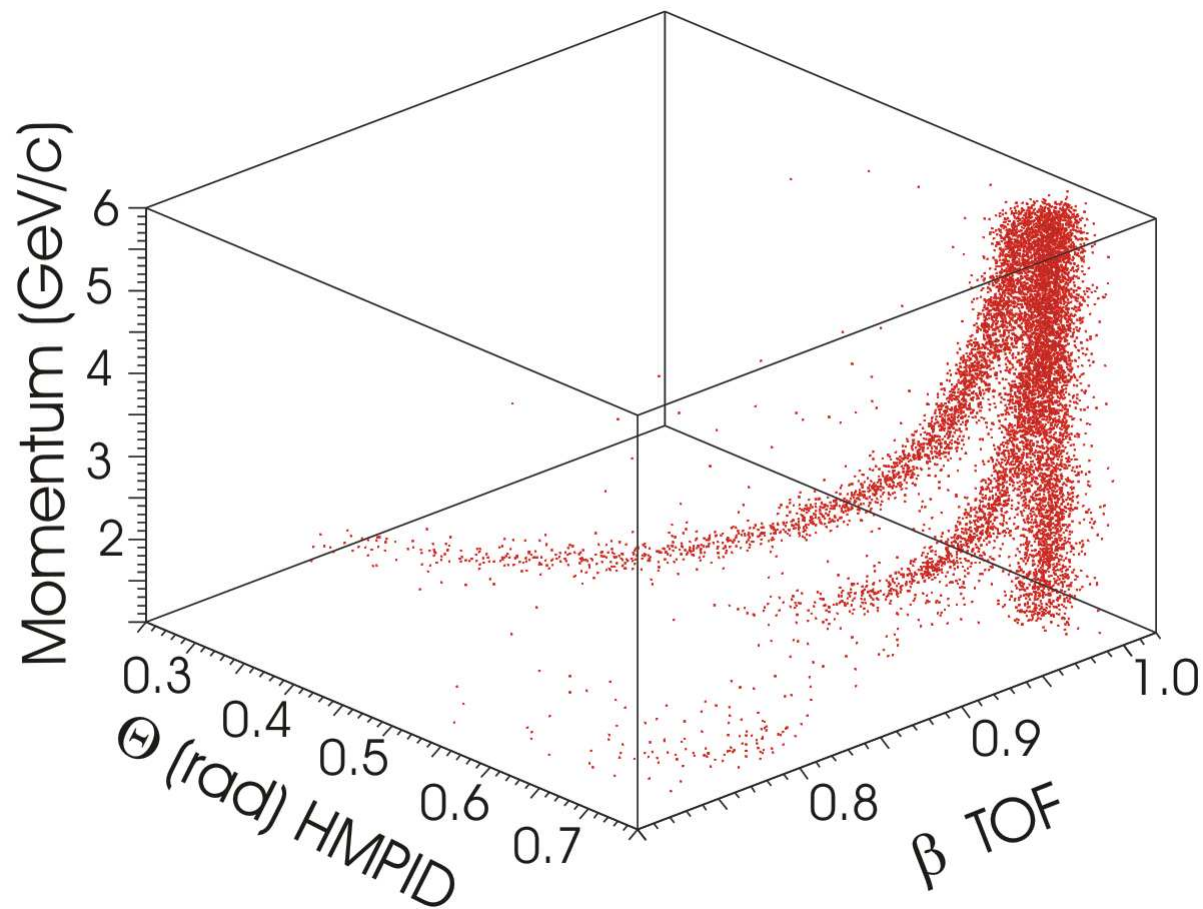


Identyfikacja cząstek

HMPID @ALICE

High Momentum Particle Identification

Korelacja między pomiarami detektorów HMPID i TOF.

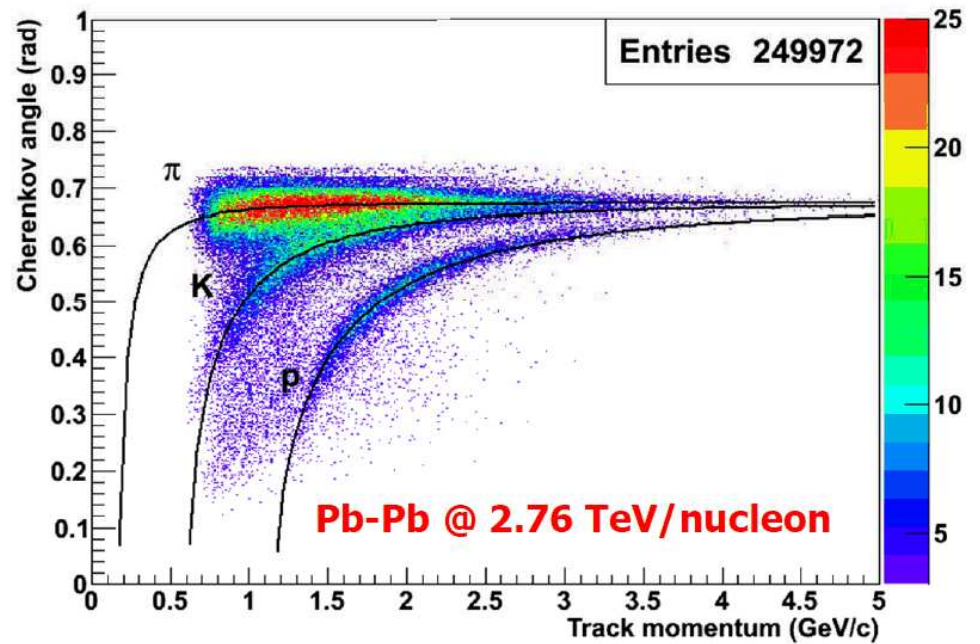
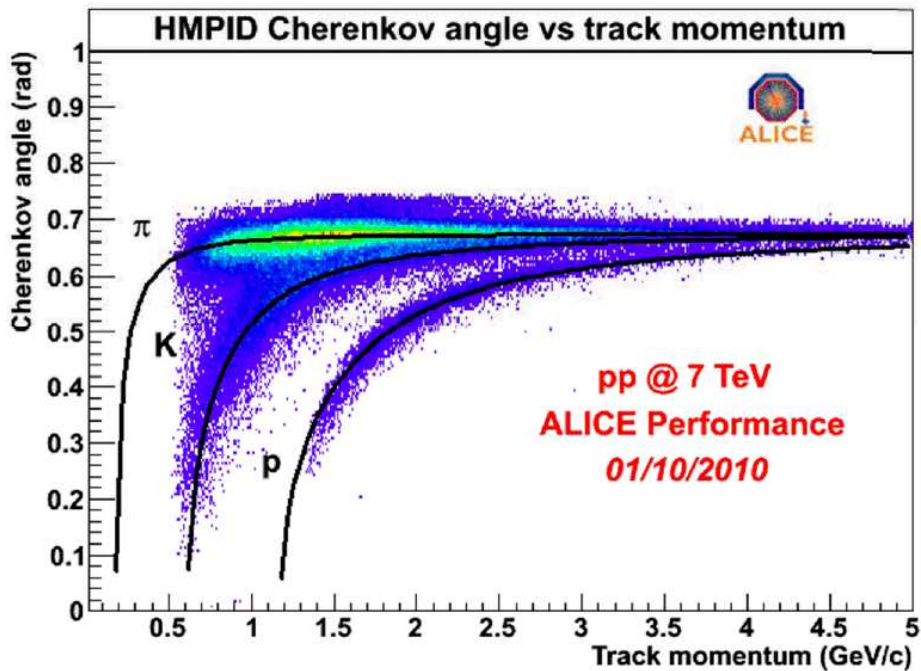


Identyfikacja cząstek

HMPID @ALICE

High Momentum Particle Identification

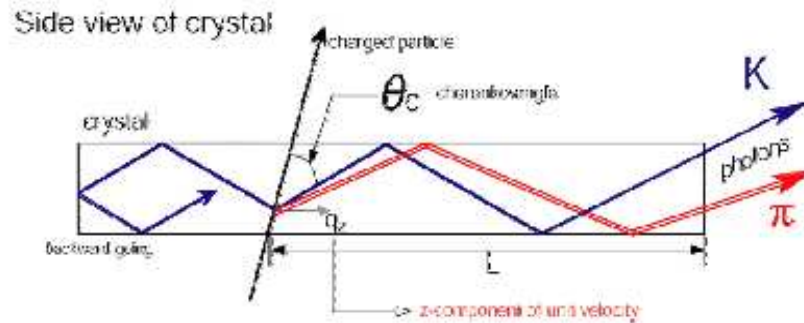
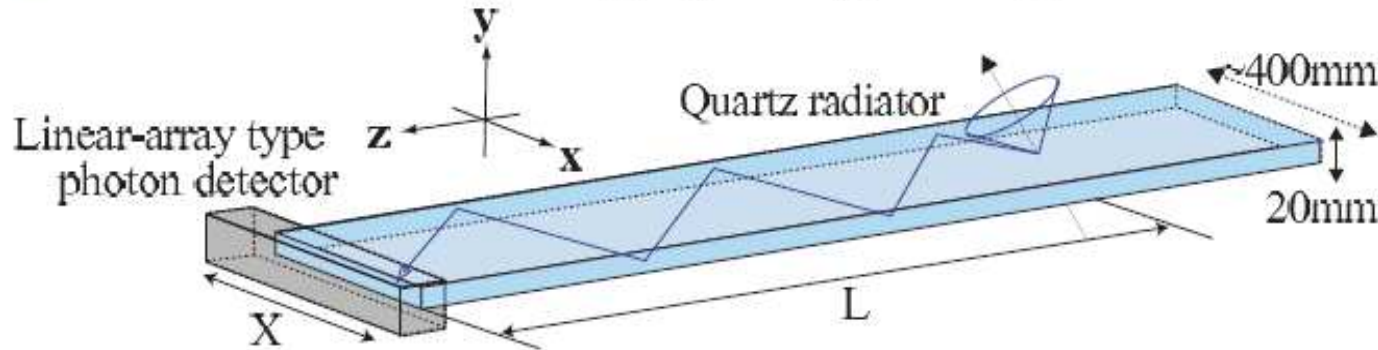
Detector performance at LHC



TOP counter

Time of Propagation - detektor Czerenkowa dla Belle II

- Cherenkov ring imaging using timing information



$$\cos \theta_c = \frac{1}{n(\lambda)\beta}$$

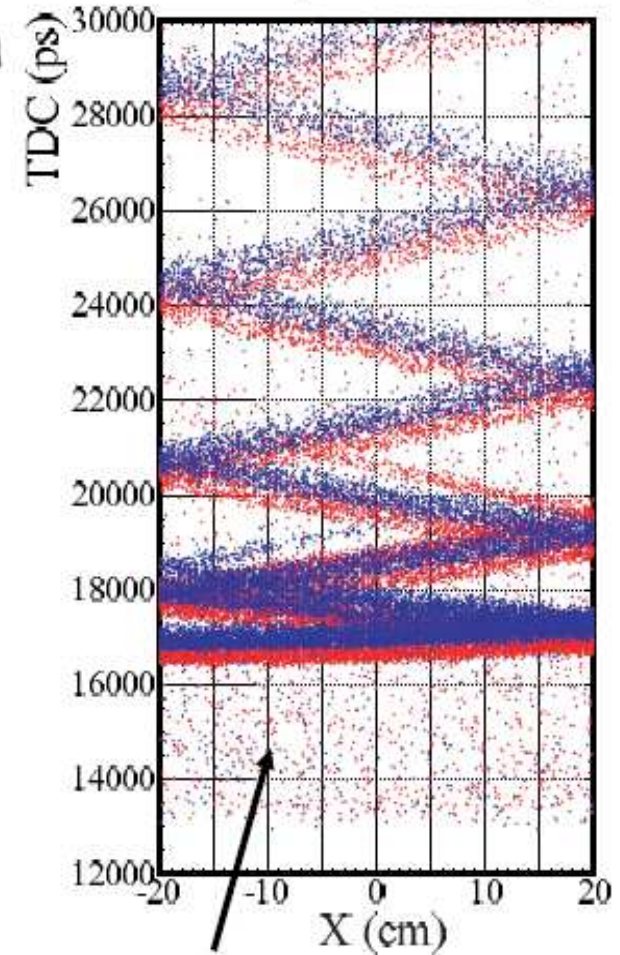
Difference of path length

→ Difference of **time of propagation** (TOP)

150~200ps from **TOP + TOF from IP**

with precise time resolution ($\sigma \sim 40\text{ps}$) for each photon

Simulation
2GeV/c, $\theta = 90$ deg.



δ -ray,
had. int.

Identyfikacja cząstek

Promieniowanie przejścia

Transition radiation

Promieniowanie gamma emitowane przez ultra-relatywistyczne cząstki przy przechodzeniu przez granicę dwóch ośrodków o różnym stałej dielektrycznej.

Średnia wypromieniowana energia:

$$W \approx \frac{\alpha}{3} \hbar \omega_p \gamma$$

ω_p - częstość plazmowa ($\hbar \omega_p \sim 20 eV$)

Energie fotonów $\hbar \omega \approx \frac{1}{4} \hbar \omega_p \gamma$

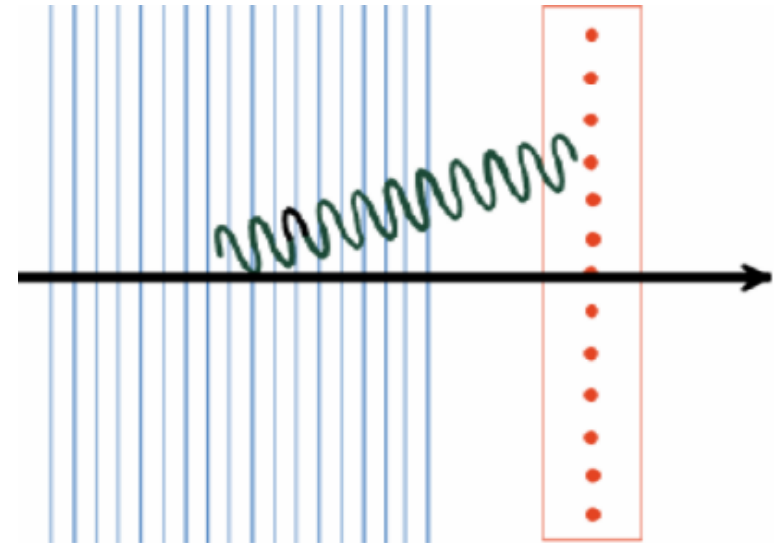
⇒ prawdopodobieństwo emisji $\sim \alpha = \frac{1}{137}$

Aby uzyskać mierzalny efekt potrzebny jest układ wielu naprzemian ułożonych warstw.

Kąt emisji promieniowania $\theta \sim \frac{1}{\gamma}$

⇒ fotony rejestrowane wzdłuż toru cząstki, widoczne jako wzrost dE/dx

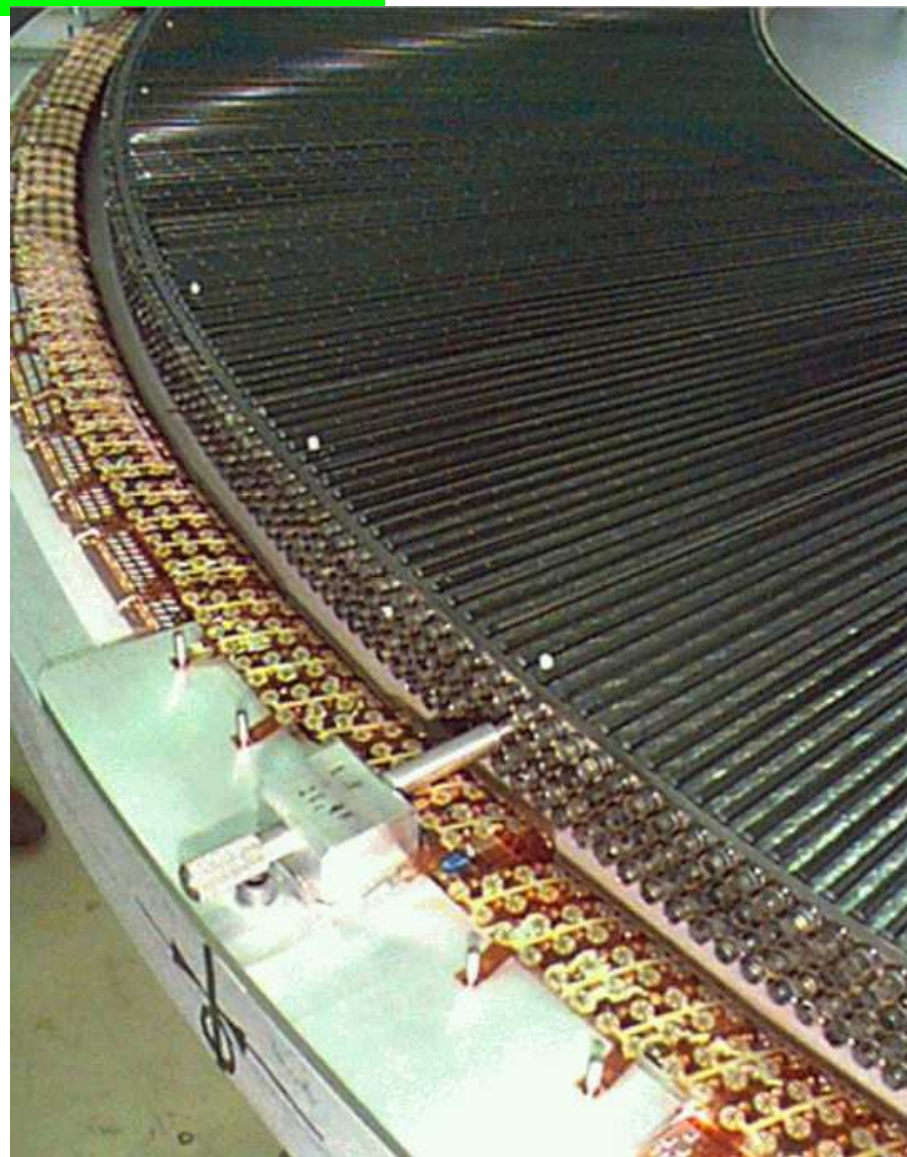
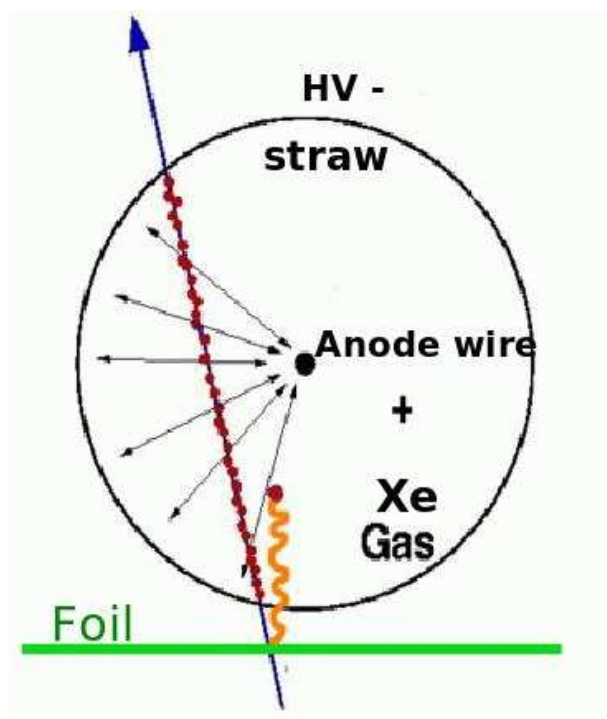
Najczęściej wykorzystywane do rozróżniania e^\pm / π^\pm przy wysokich pędach



Promieniowanie przejścia

ATLAS

Radiator jest cienka folia polipropylenowa ($15\mu m$) umieszczana pomiędzy warstwami komór słomkowych.

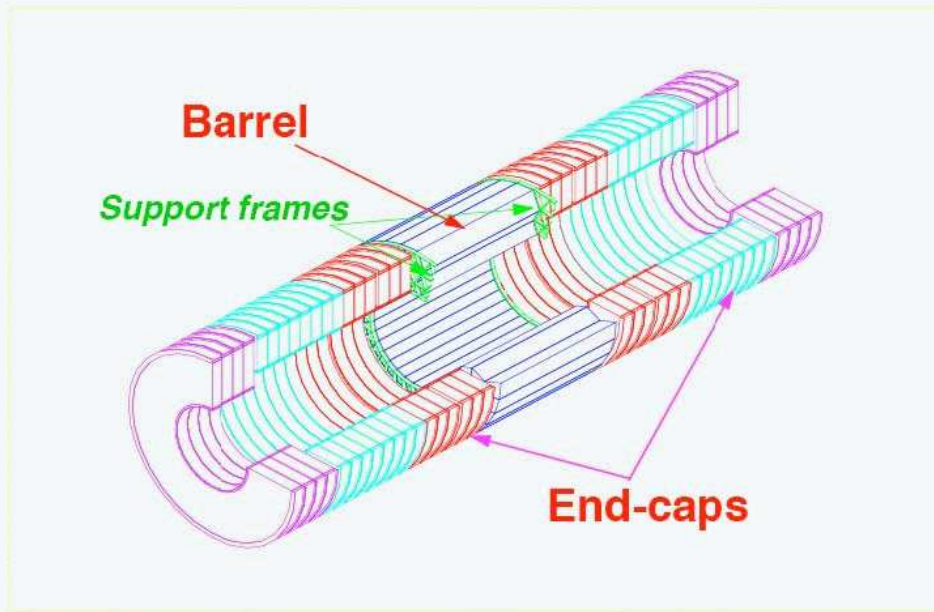


Ksenon - efektywna absorbcja X (10-30 keV)

Promieniowanie przejścia

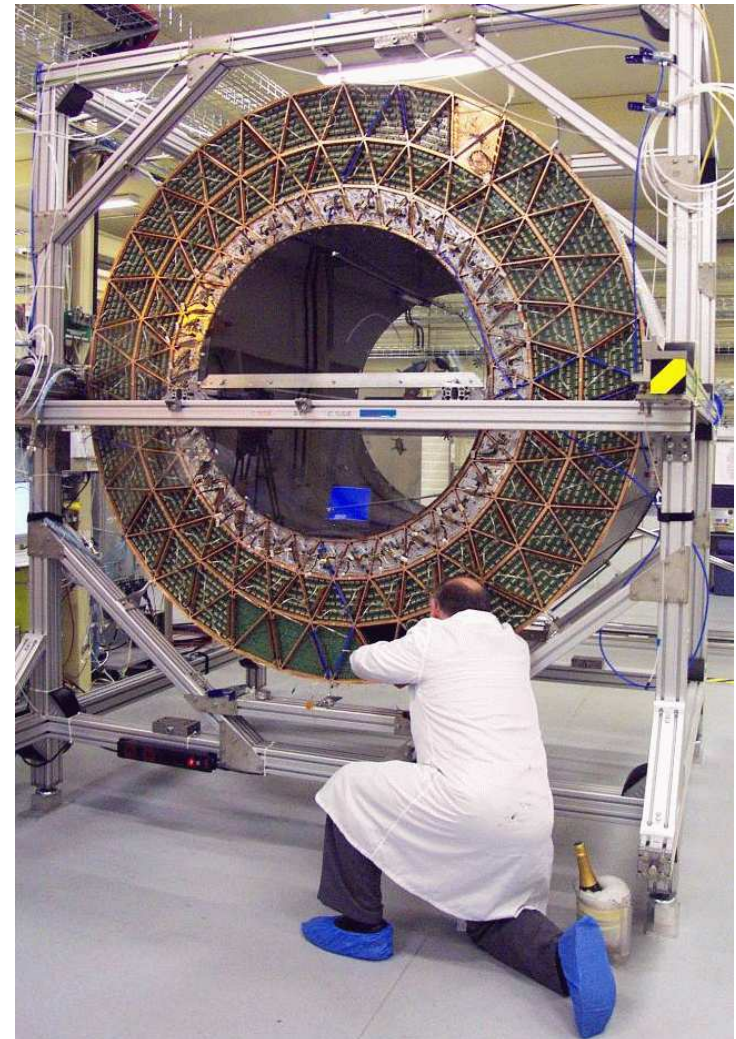
ATLAS

TRT global parameters



Length: Total	6802 cm	N straws: Total	372032
Barrel	148 cm	Barrel	52544
End-cap	257 cm	End-cap	319488
Outer diameter	206 cm	N electronics channels	424576
Inner diameter	96-128 cm	Weight	~ 1500 kg

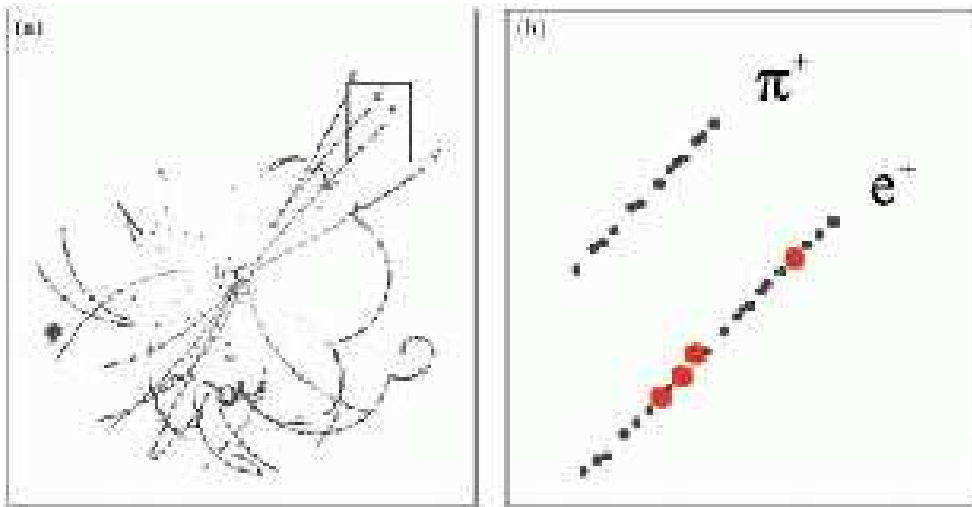
Transition Radiation Tracker (barrel)



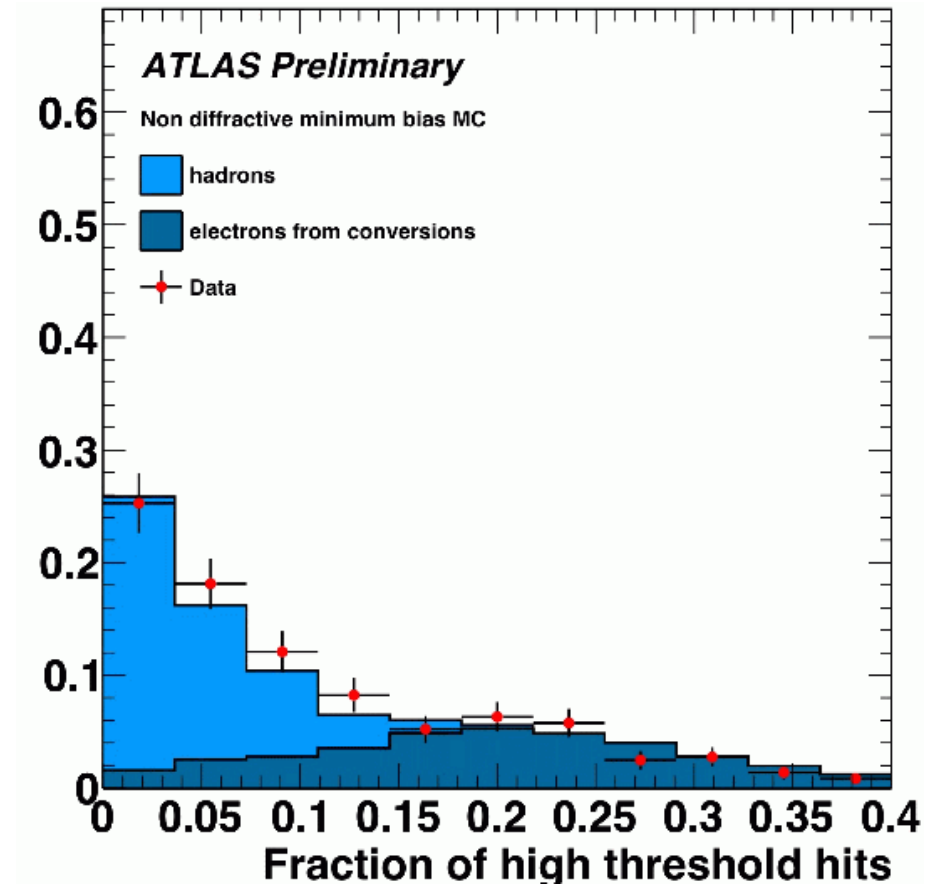
Promieniowanie przejścia

ATLAS

Dla cząstki o $\gamma > 1000$ oprócz jonizacji obserwujemy duże depozyty pochodzące od fotonów X.



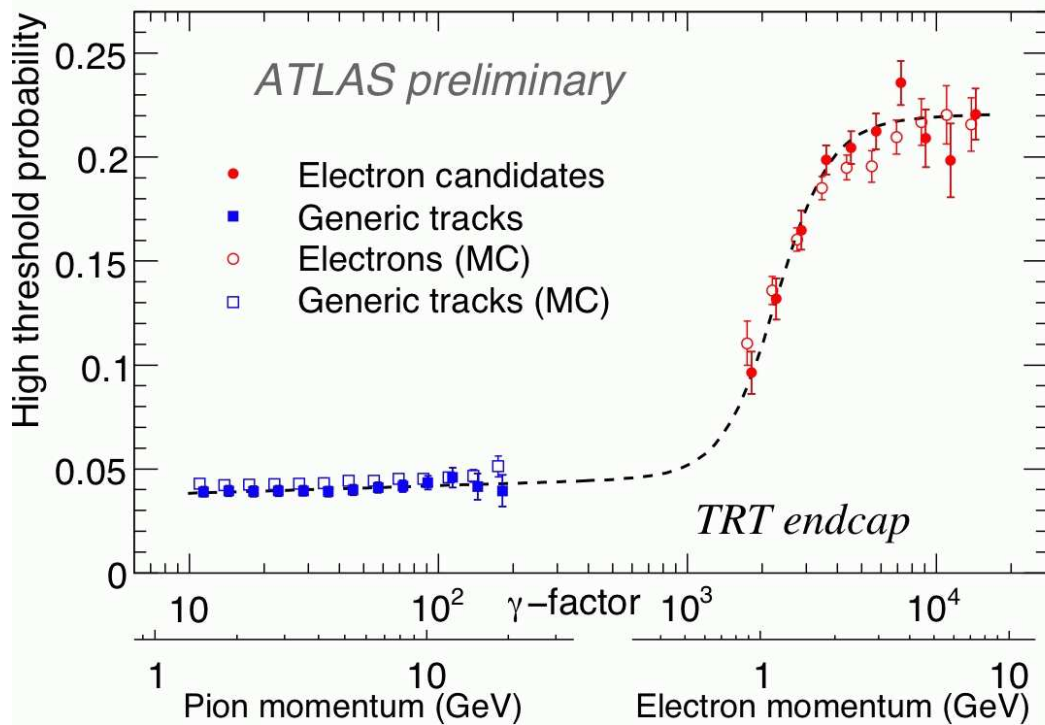
Ułamek dużych depozytów wskazuje na typ cząstki. Pierwsze dane LHC:



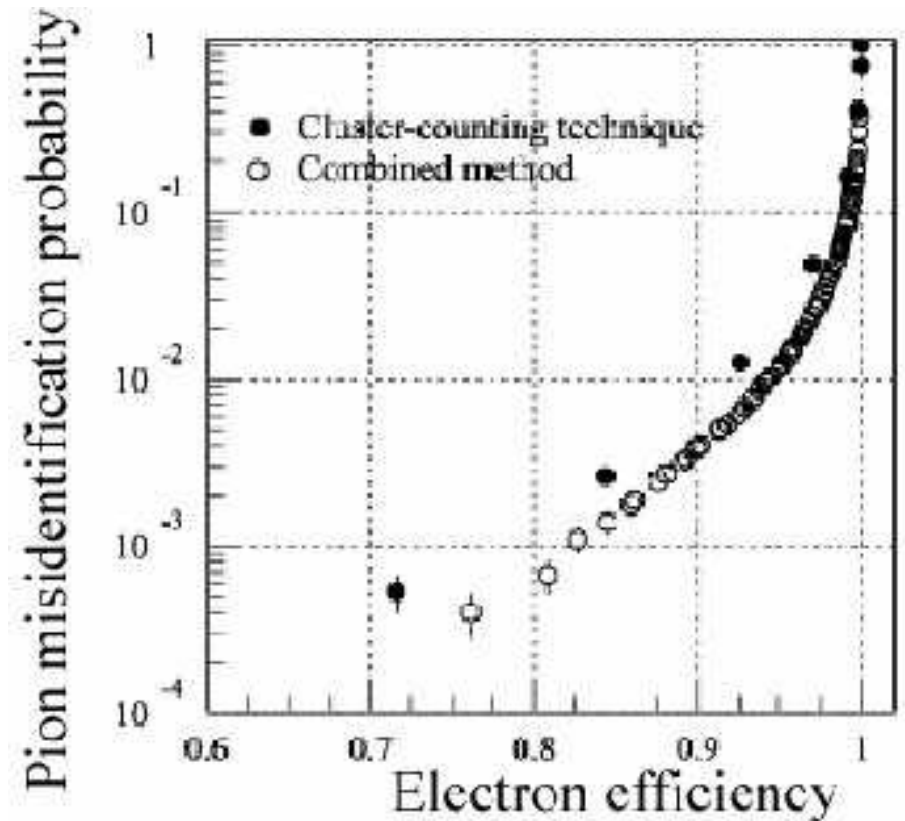
Promieniowanie przejścia

ATLAS

Prawdopodobieństwo depozytu powyżej progu, dla pojedynczej warstwy detektora:



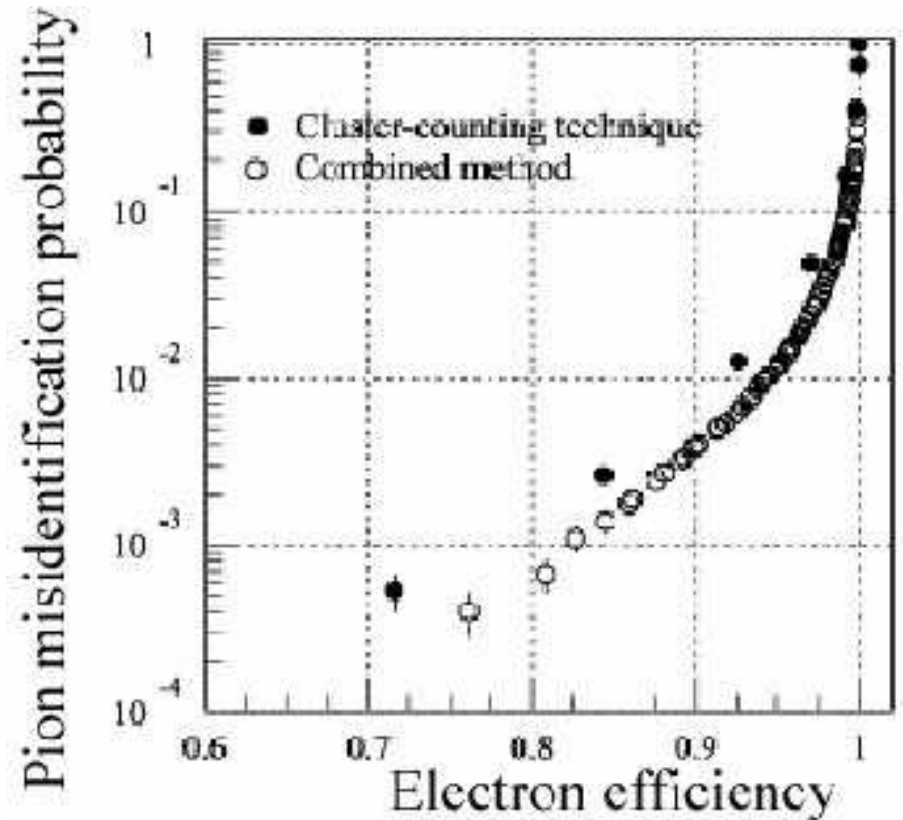
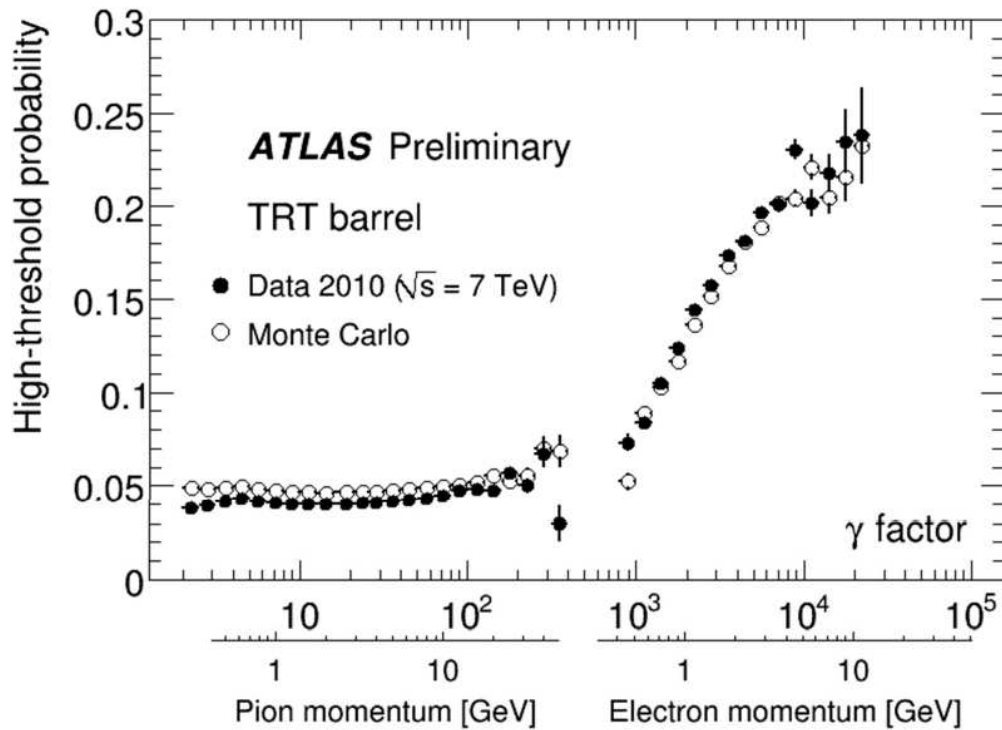
Dyskryminacja e vs π @ 20GeV:



Promieniowanie przejścia

ATLAS

Prawdopodobieństwo depozytu powyżej progu, dla pojedynczej warstwy detektora: Dyskryminacja e vs π @ 20GeV:

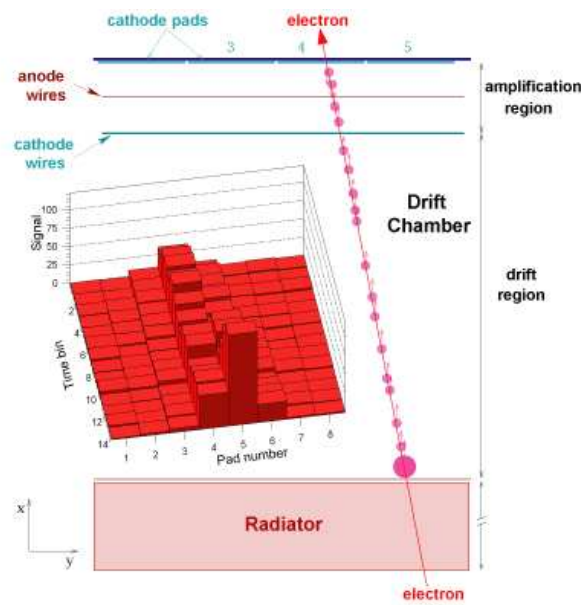
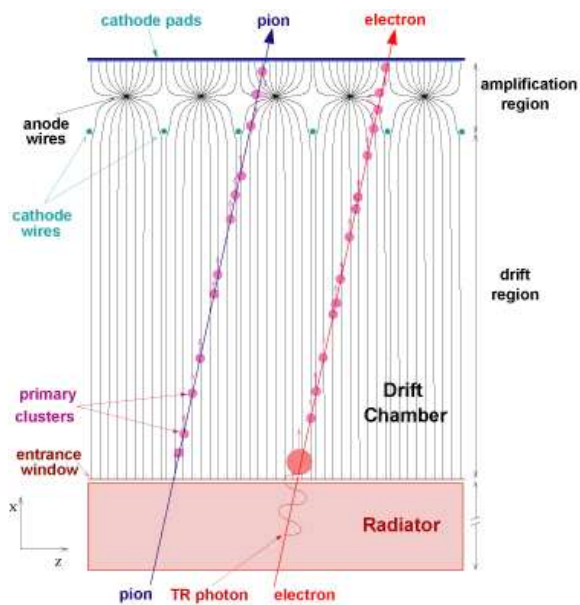


Promieniowanie przejścia

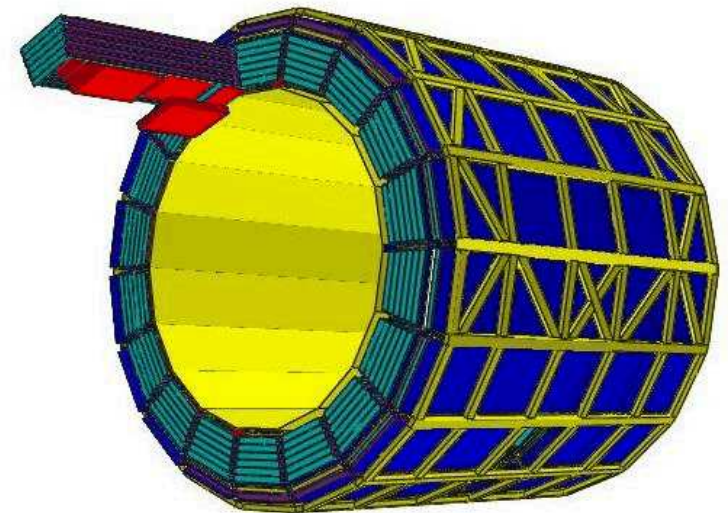
ALICE

Promieniowanie przejścia mierzone w komorach dryfowych.

Schemat komory



Schemat detektora

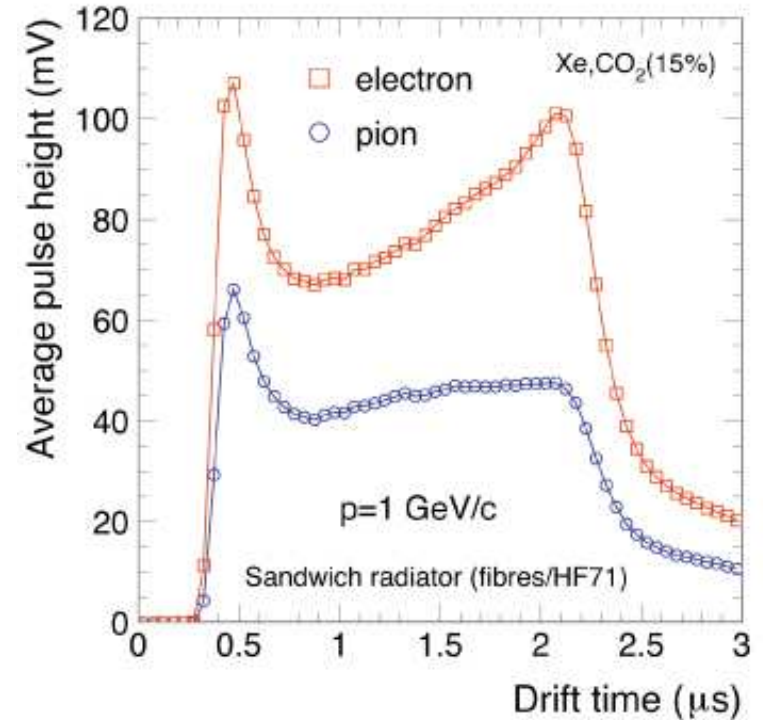
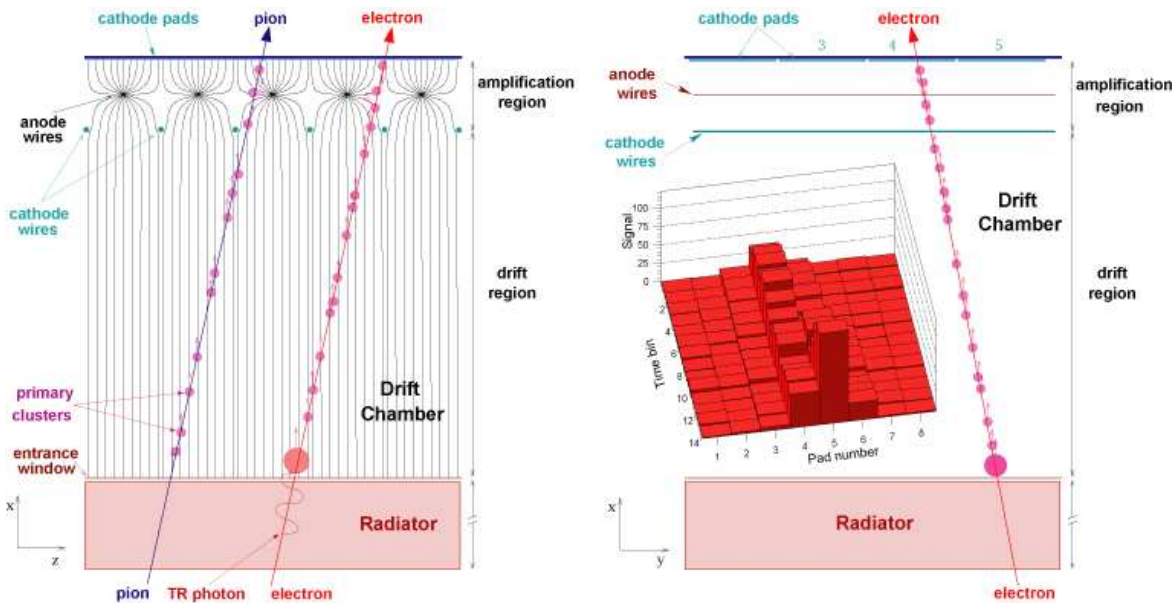


Promieniowanie przejścia

ALICE

Promieniowanie przejścia głównie przy brzegu komory

⇒ różny profil czasowy pulsu dla elektronów i pionów

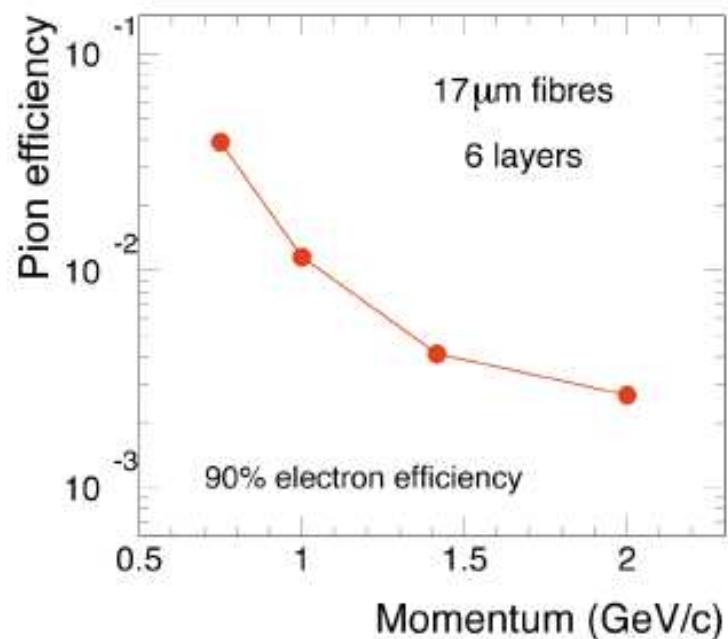


Promieniowanie przejścia

ALICE

Efektywność odrzucania pionów na podstawie sygnału TRD

W funkcji pędu



Dla różnych krotności cząstek

