

Metody eksperymentalne w fizyce wysokich energii

prof. dr hab. A.F.Żarnecki

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych IFD

Wykład VI

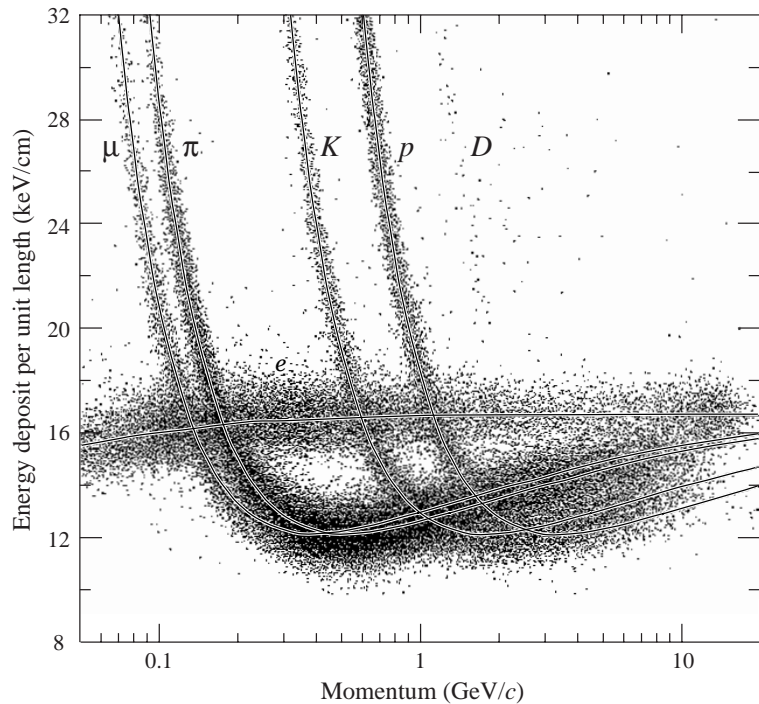
- Detektory identyfikacji cząstek

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

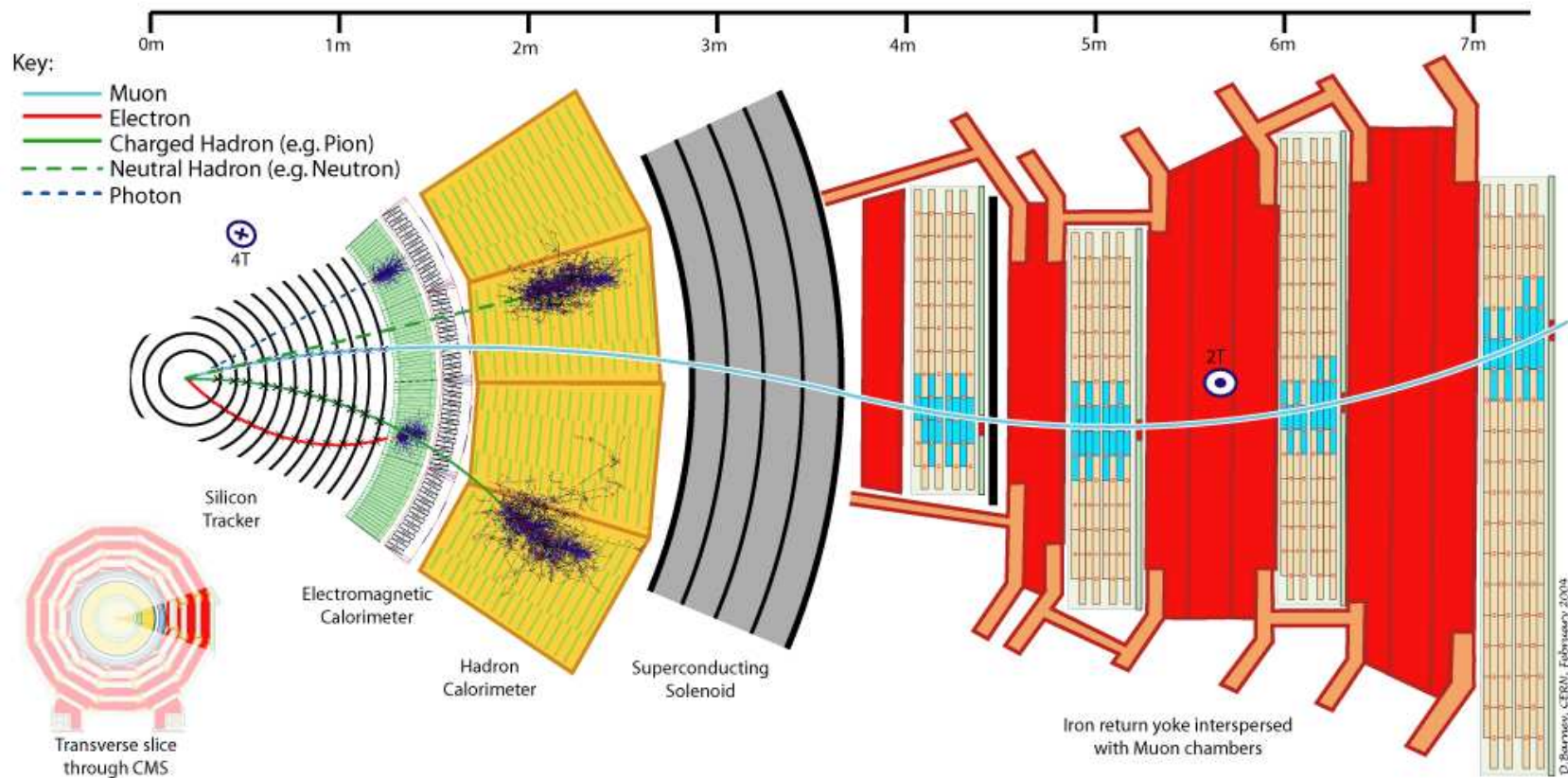
\Rightarrow odróżnienie cząstek naładowanych i obojętnych
np. elektron vs foton

Kalorymetry + detektory mionowe

\Rightarrow identyfikacja mionów

Identyfikacja cząstek

Kolejność detektorów jest tu niezwykle istotna.

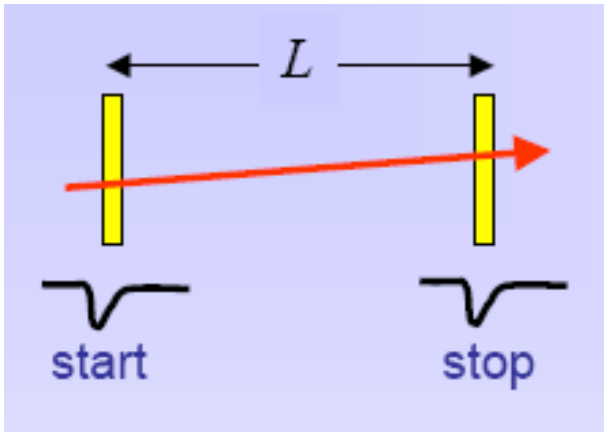


Jak możemy rozbudować ten układ, żeby poprawić identyfikację?

Identyfikacja cząstek

Liczniki czasu przelotu Time-of-Flight (TOF)

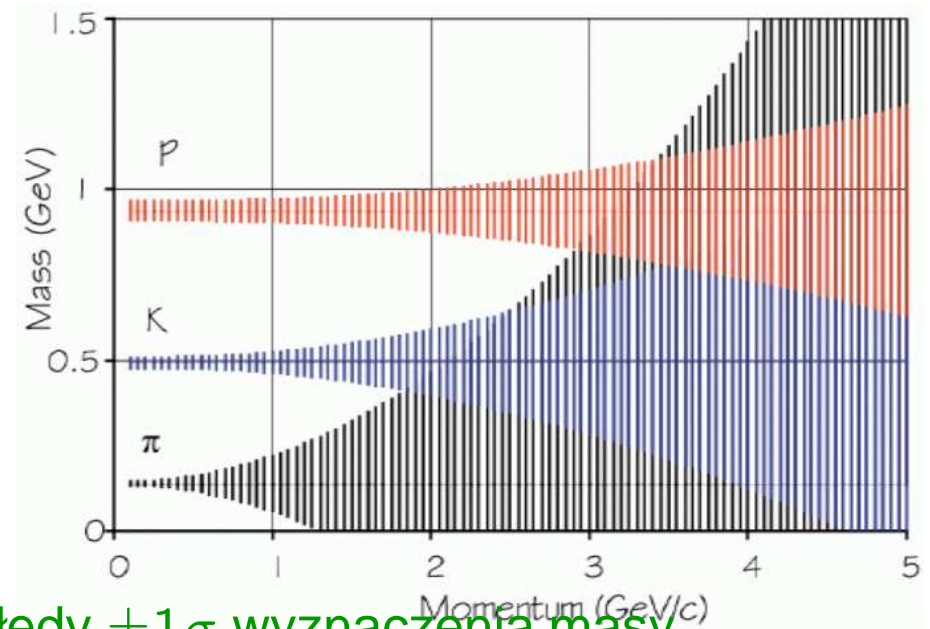
Pomiar czasu przelotu cząstki o znanym pędzie pozwala wyznaczyć jej masę:



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

$$p = \beta\gamma m$$

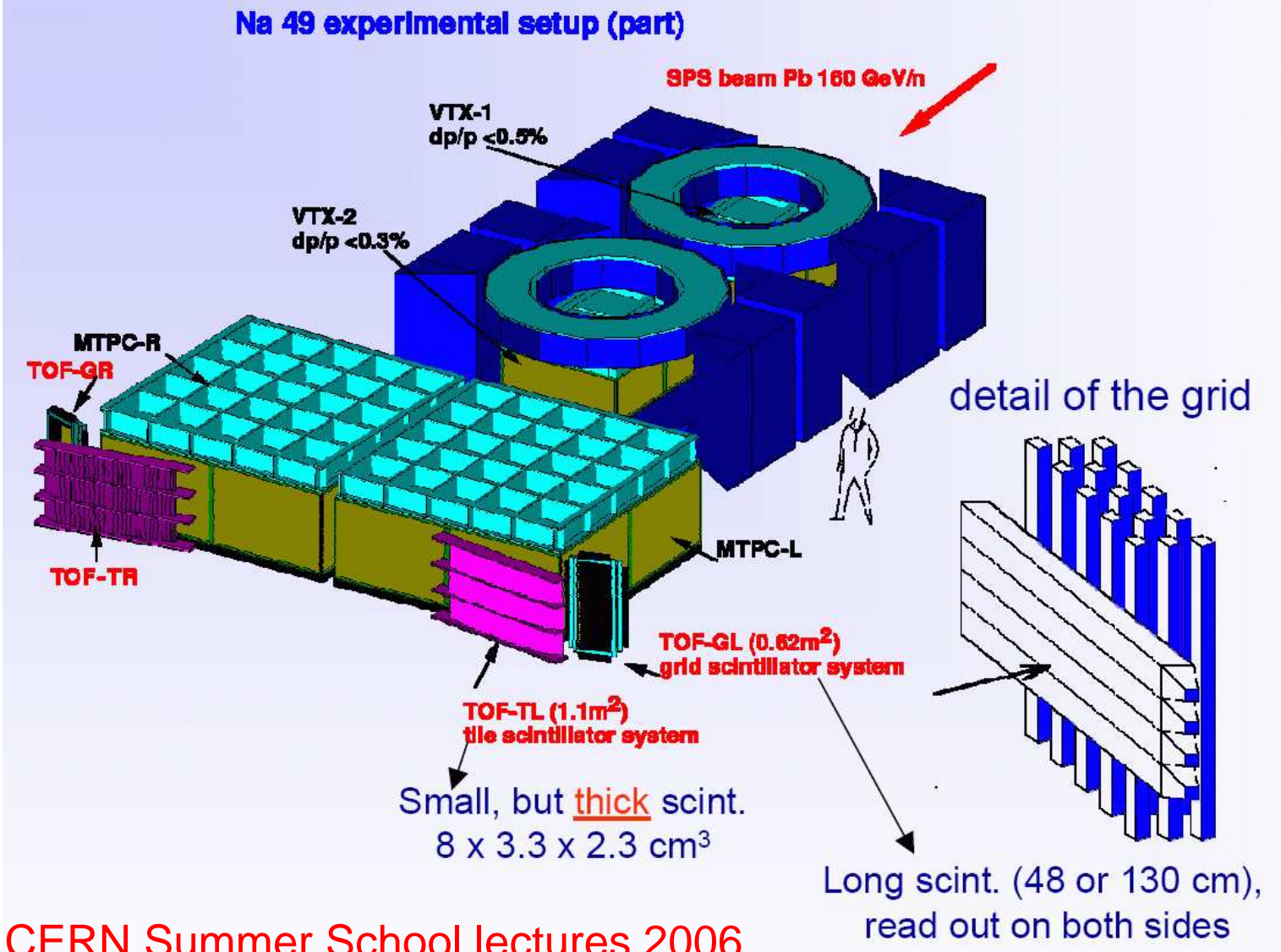
$$l = \beta ct \Rightarrow m^2 = \frac{p^2}{l^2} (c^2 t^2 - l^2)$$



Błędy $\pm 1\sigma$ wyznaczenia masy

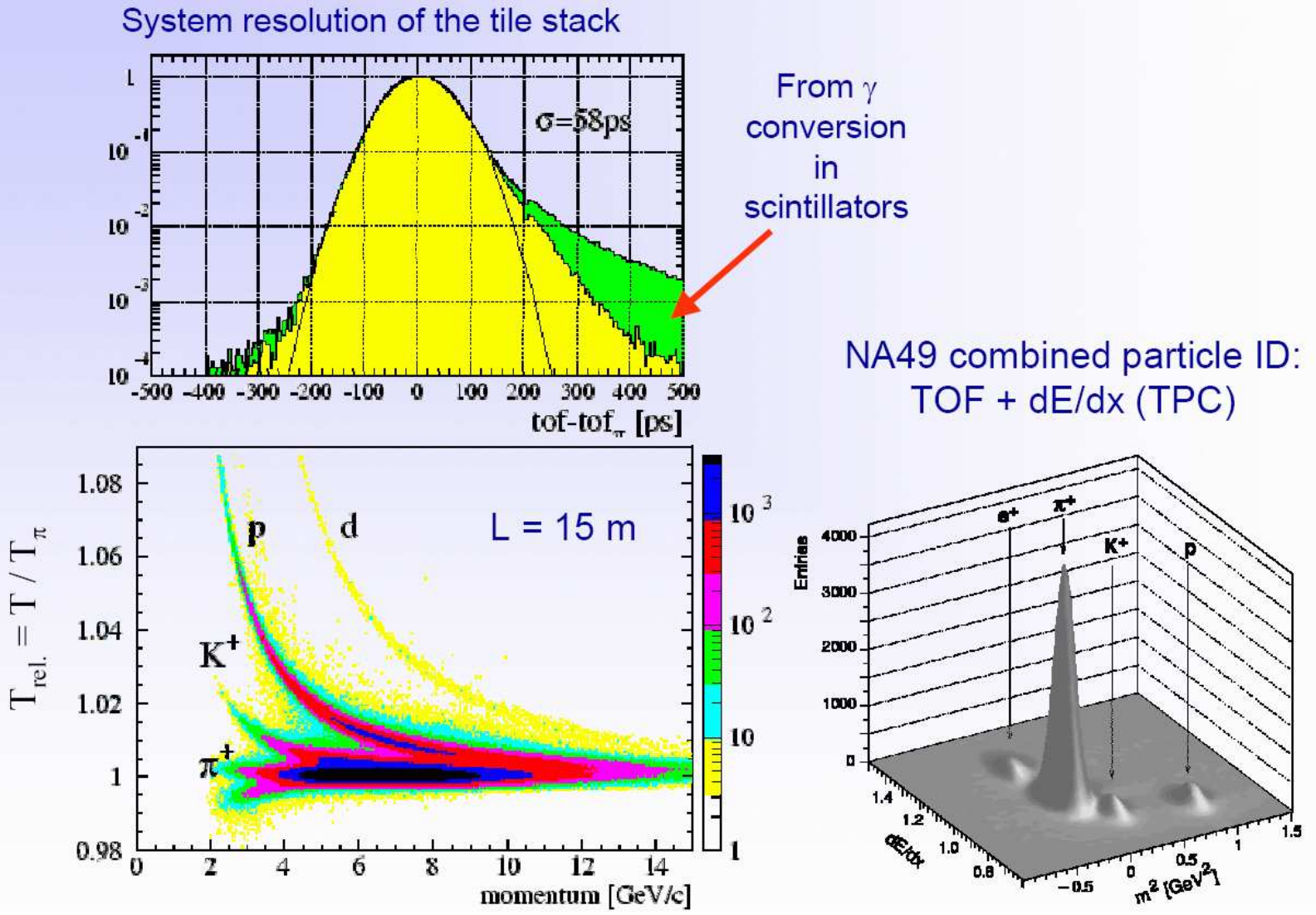
Dobra identyfikacja cząstek niskoenergetycznych ($p \sim m$)

Liczniki czasu przelotu



O.Ullaland, CERN Summer School lectures 2006

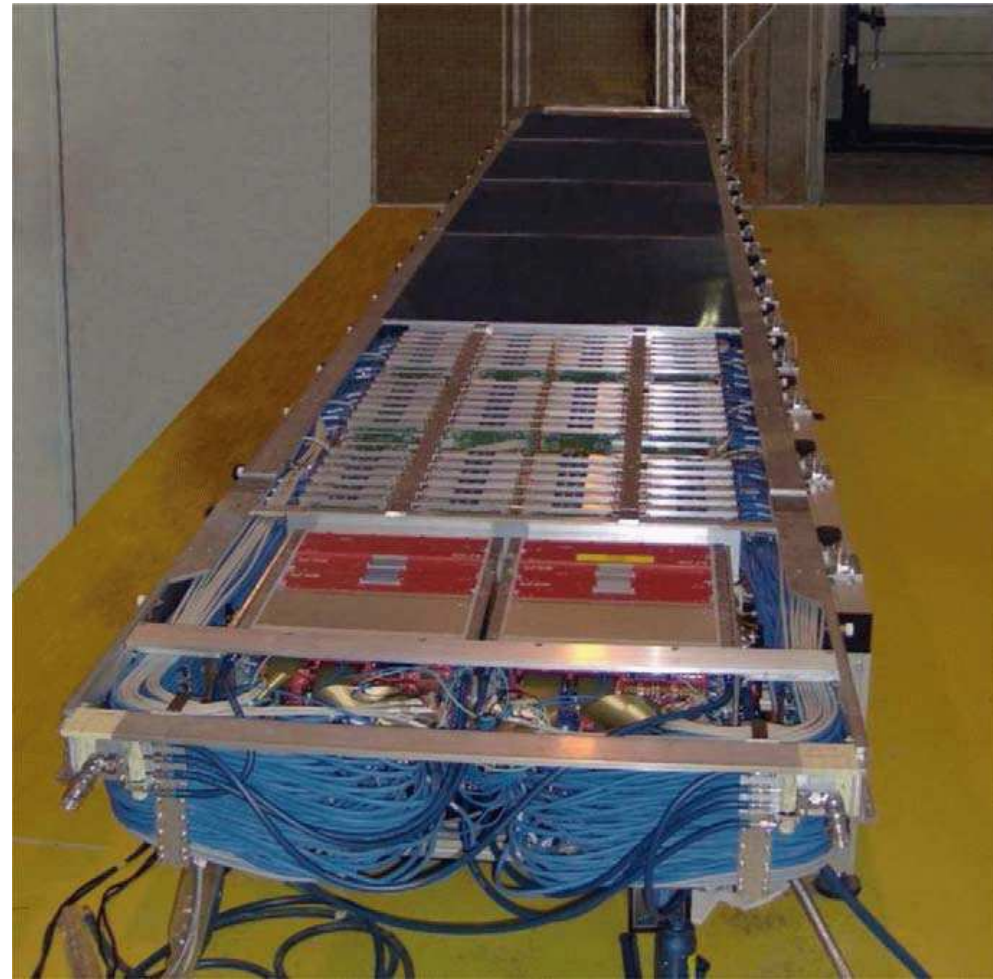
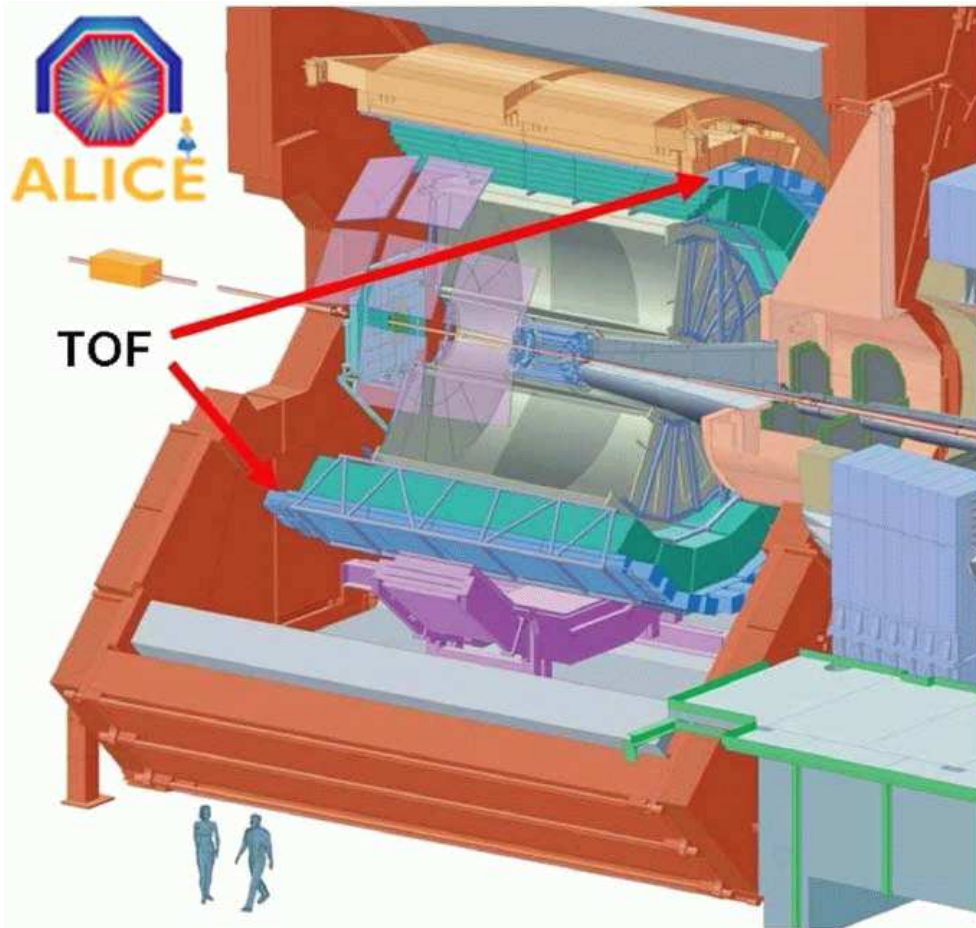
Liczniki czasu przelotu



Liczniki czasu przelotu

ALICE

Detektor TOF w części centralnej zbudowany z komórek typu Multi-gap RPC

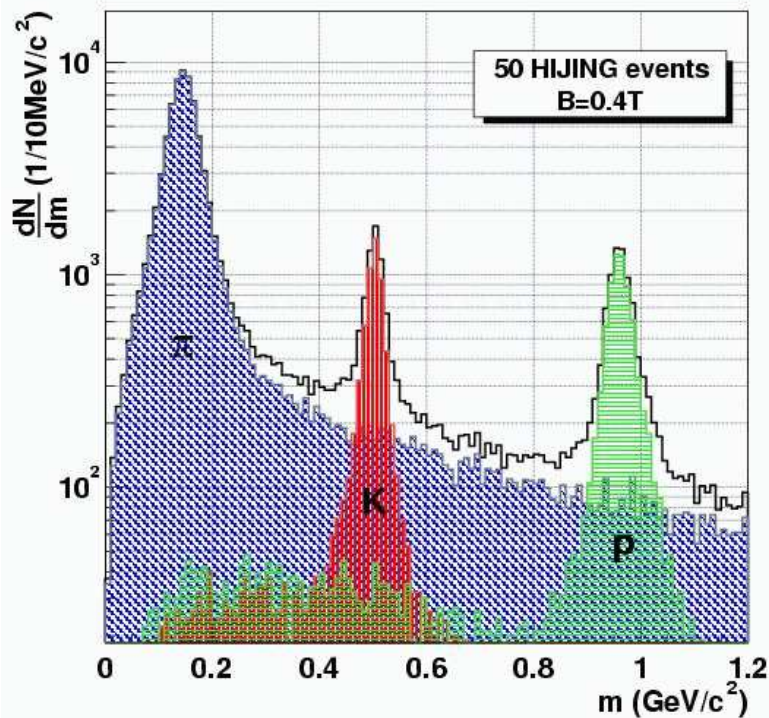


Liczniki czasu przelotu

ALICE

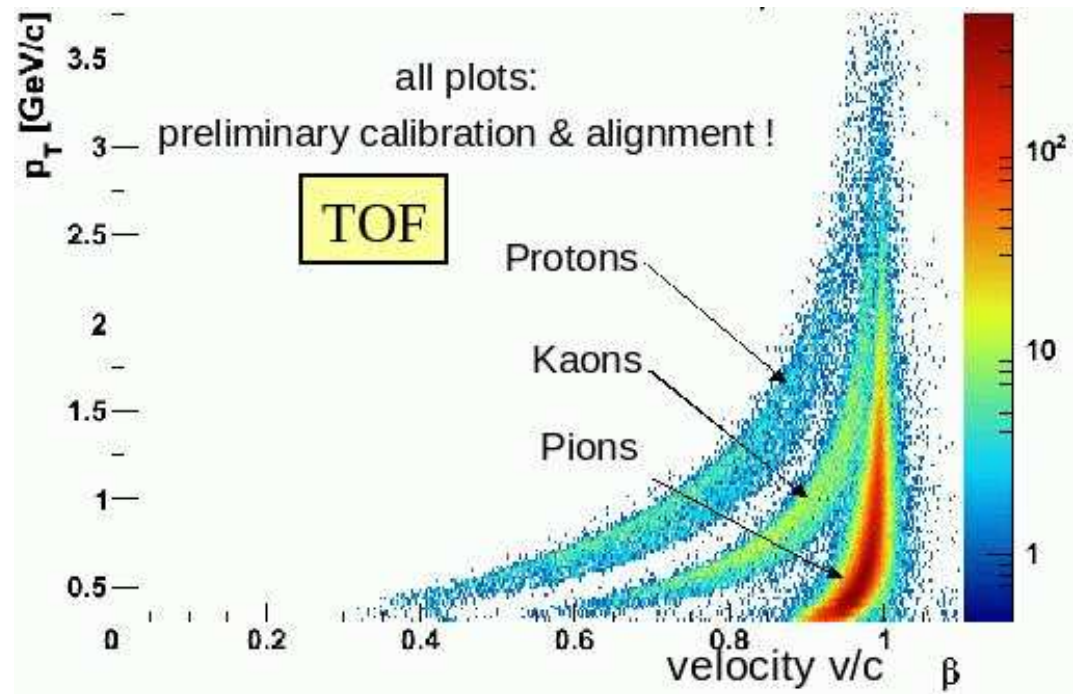
Rekonstruowana masa (TPC+TOF)

Wyniki symulacji MC:



Pęd cząstki vs zmierzona prędkość

Pierwsze dane z LHC:

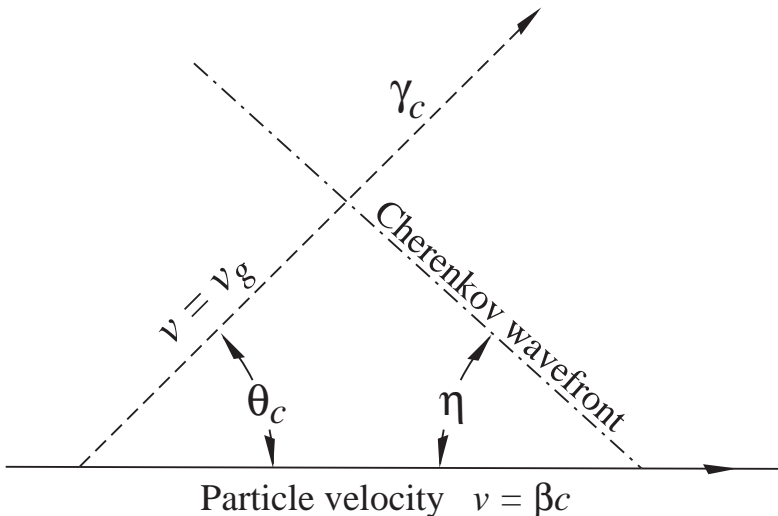


Promieniowanie Czerenkowa

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:

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

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

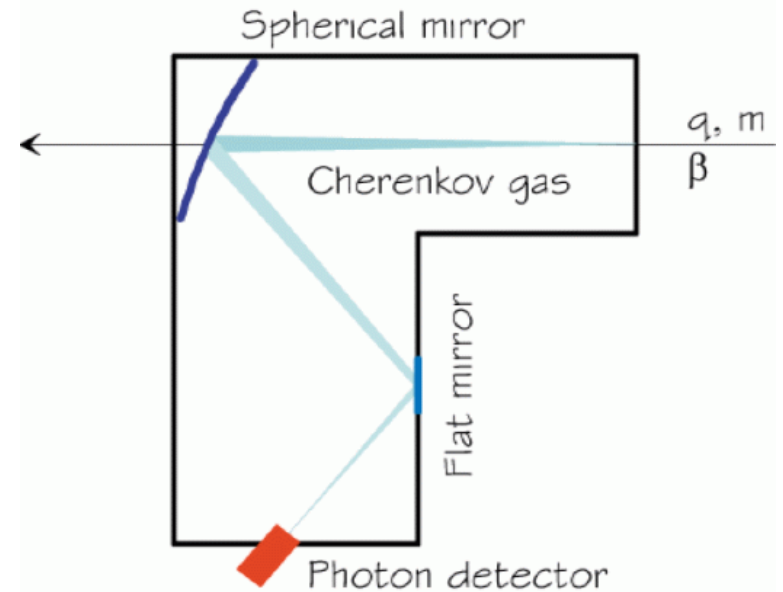
$$N_{ph} \sim \sin^2 \theta = 1 - \frac{1}{n^2 \beta^2}$$

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

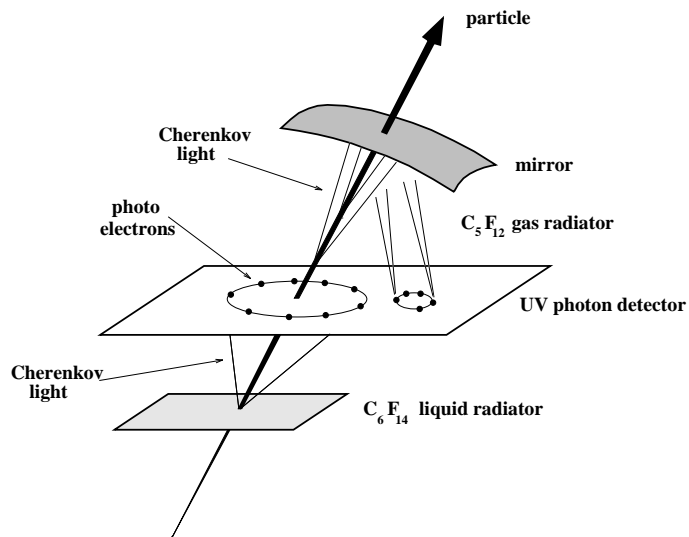


materiał	$n-1$	γ_{thr}
kwarc	0.46	1.37
woda	0.33	1.52
aerożel	0.025-0.075	2.7-4.6
izobutan	0.00127	19.9
powietrze	$2.8 \cdot 10^{-4}$	41.2
hel	$3.3 \cdot 10^{-5}$	123

Identyfikacja cząstek

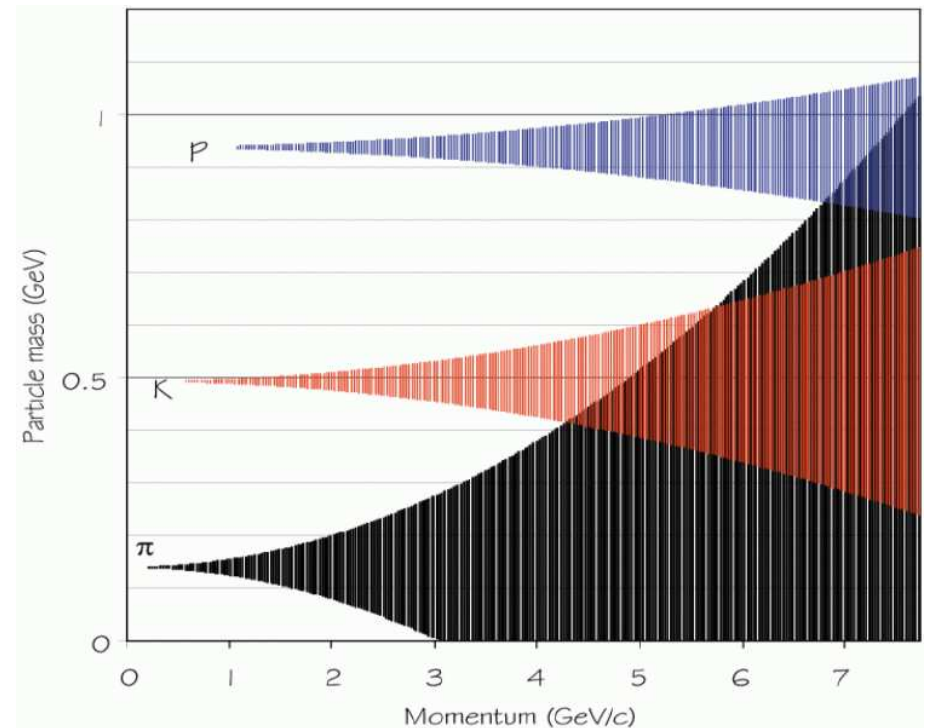
Detektory RICH Ring Imaging CHerenkov detector

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

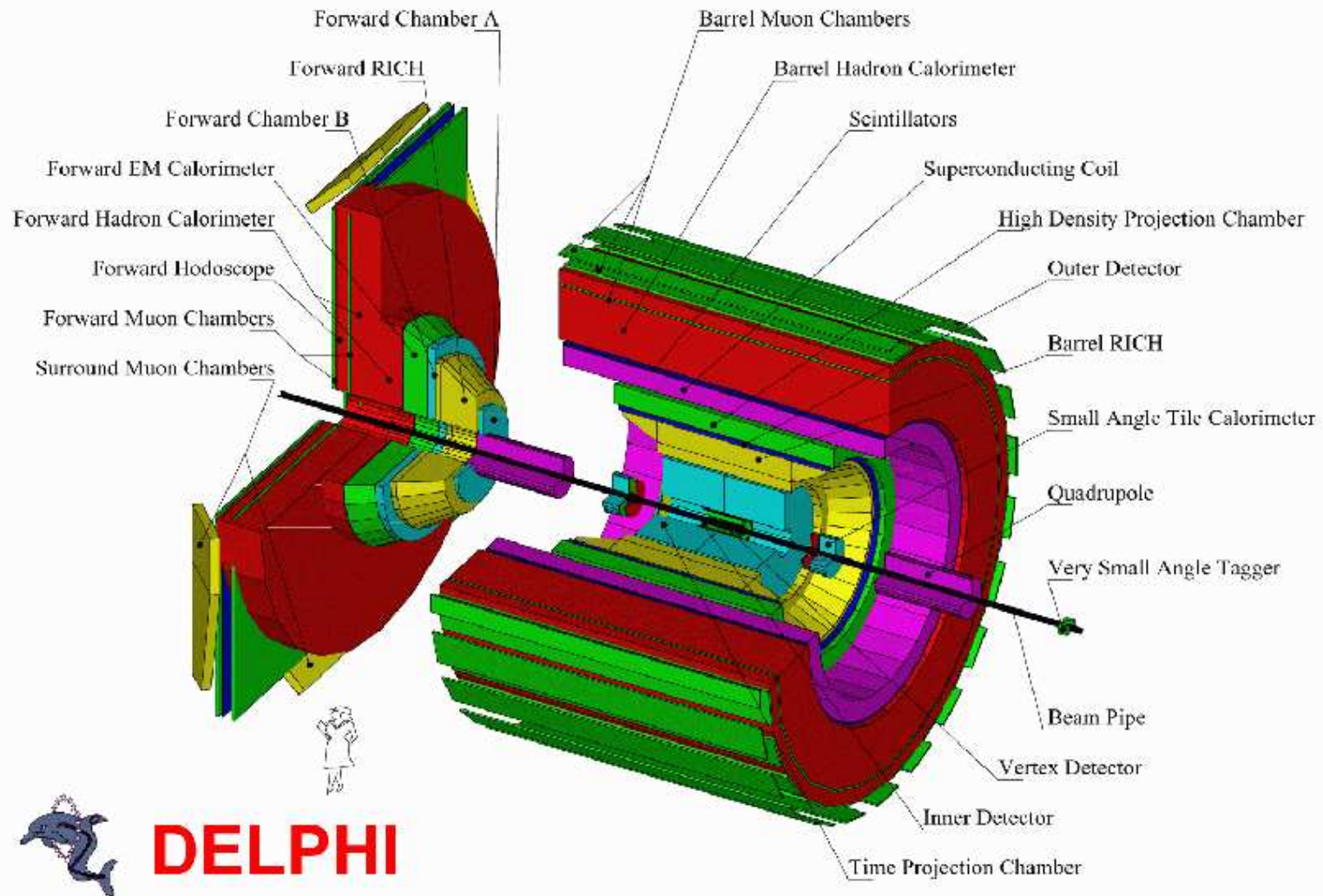


Rozmiar okręgu pozwala wyznaczyć kąt emisji promieniowania \Rightarrow prędkość

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



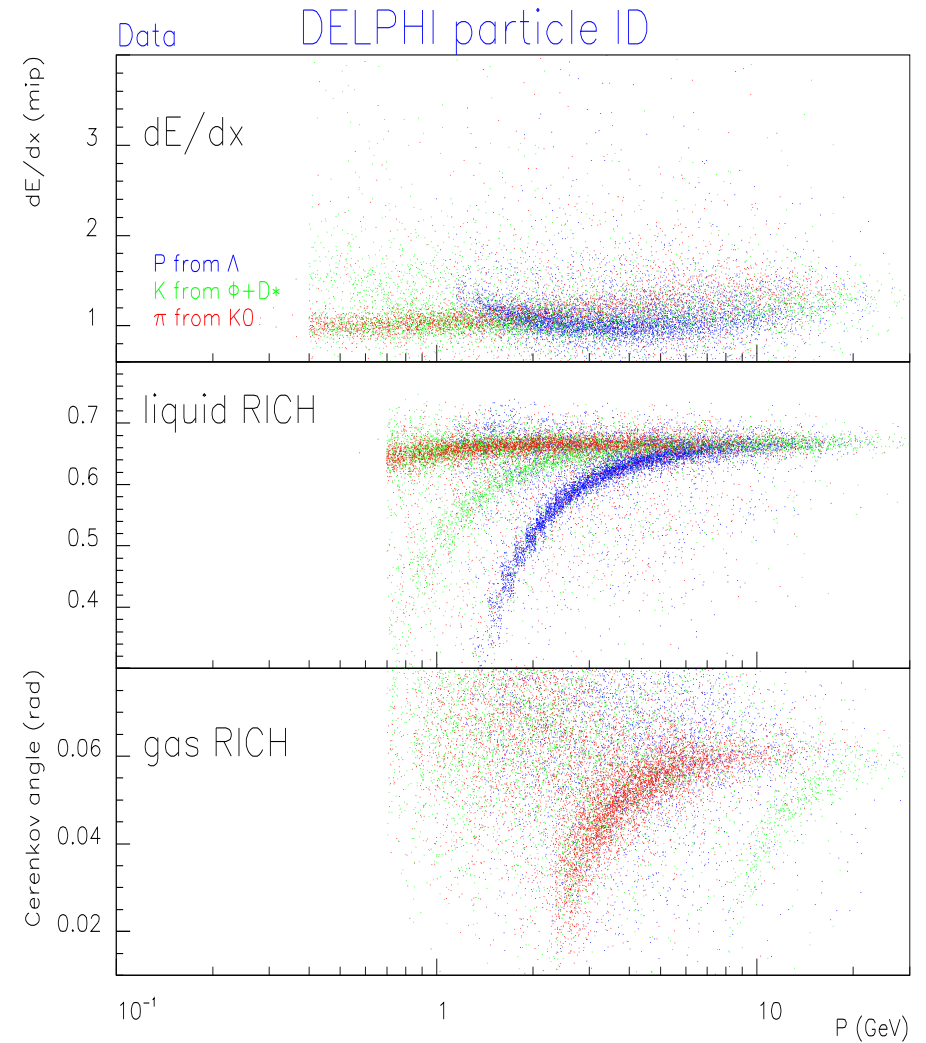
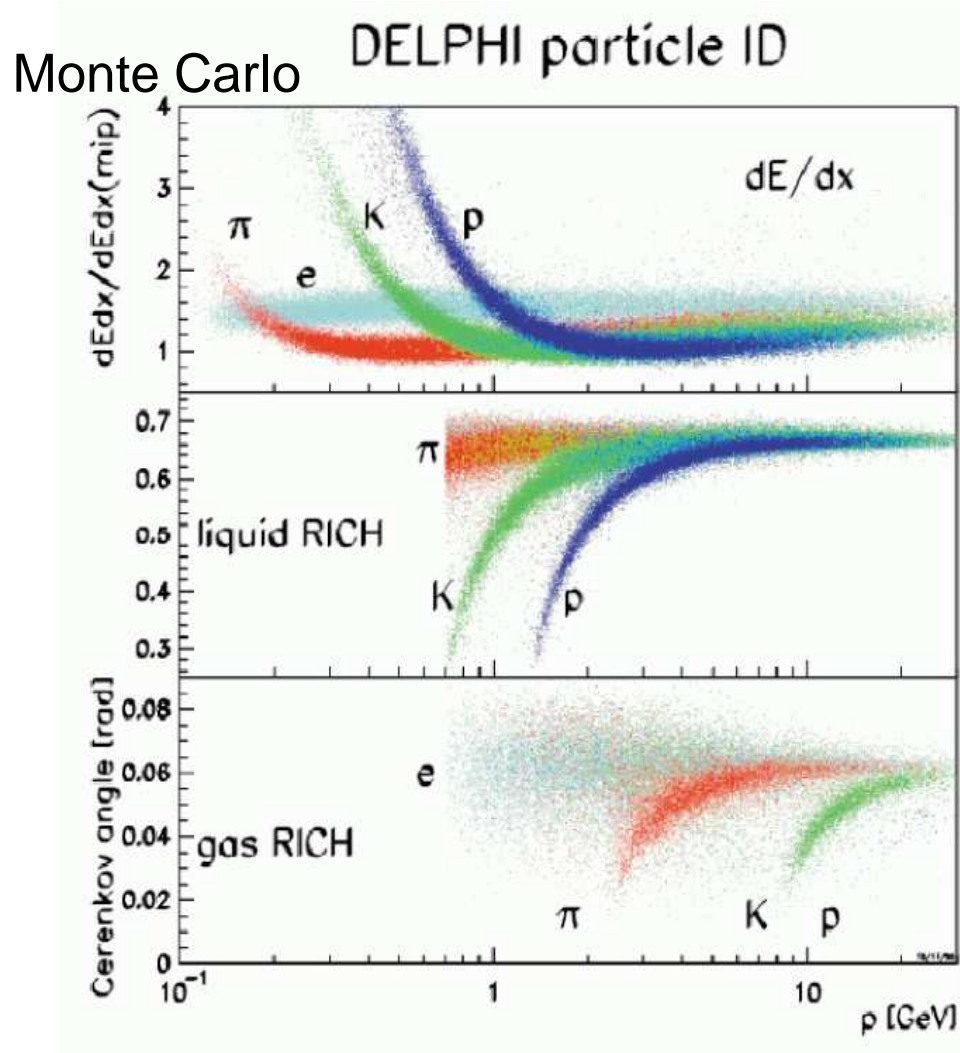
Identyfikacja cząstek



Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

@ DELPHI

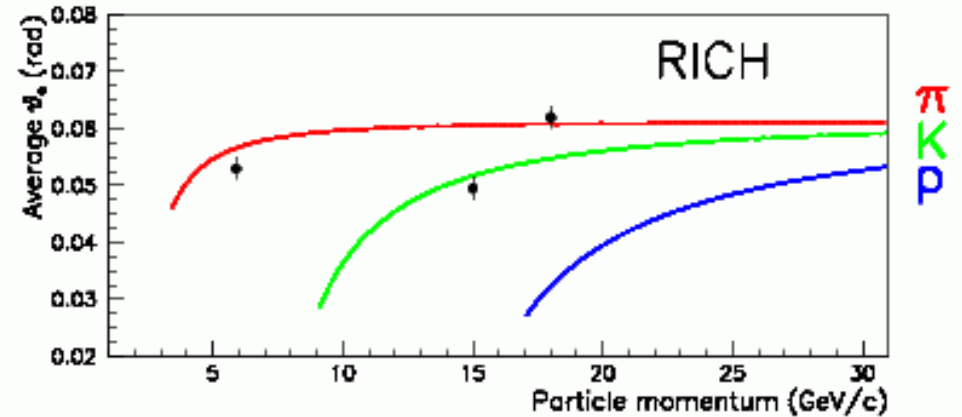
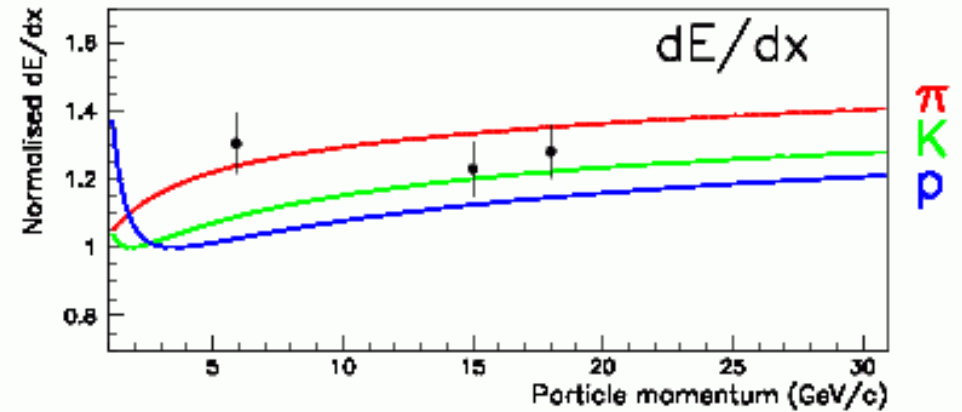
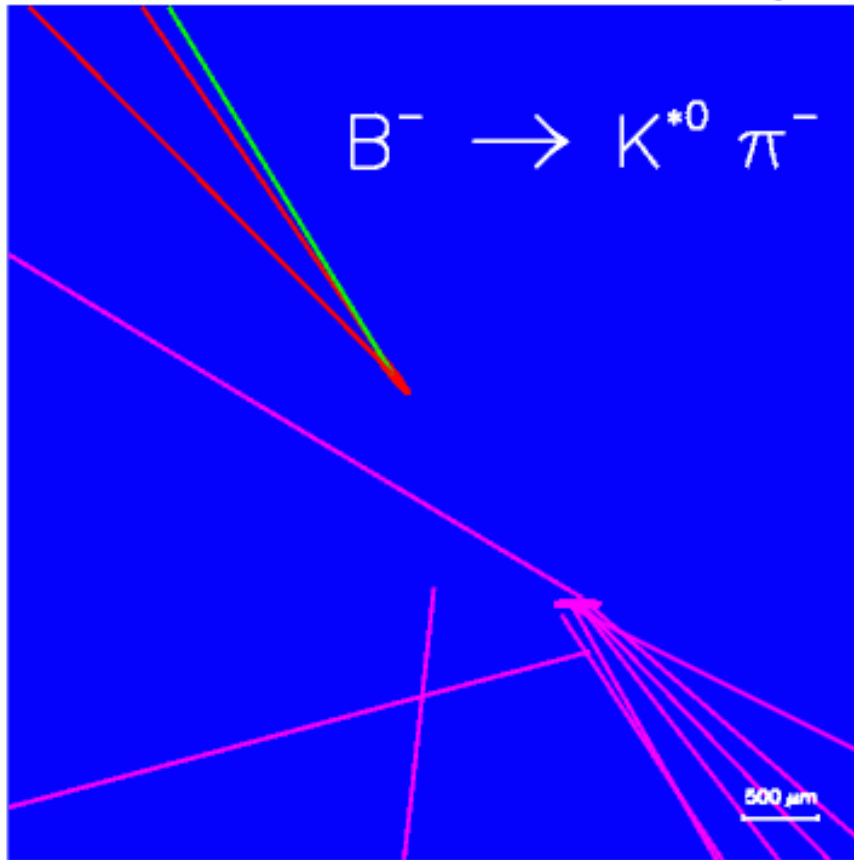


Identyfikacja cząstek

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

DELPHI Vertex Display

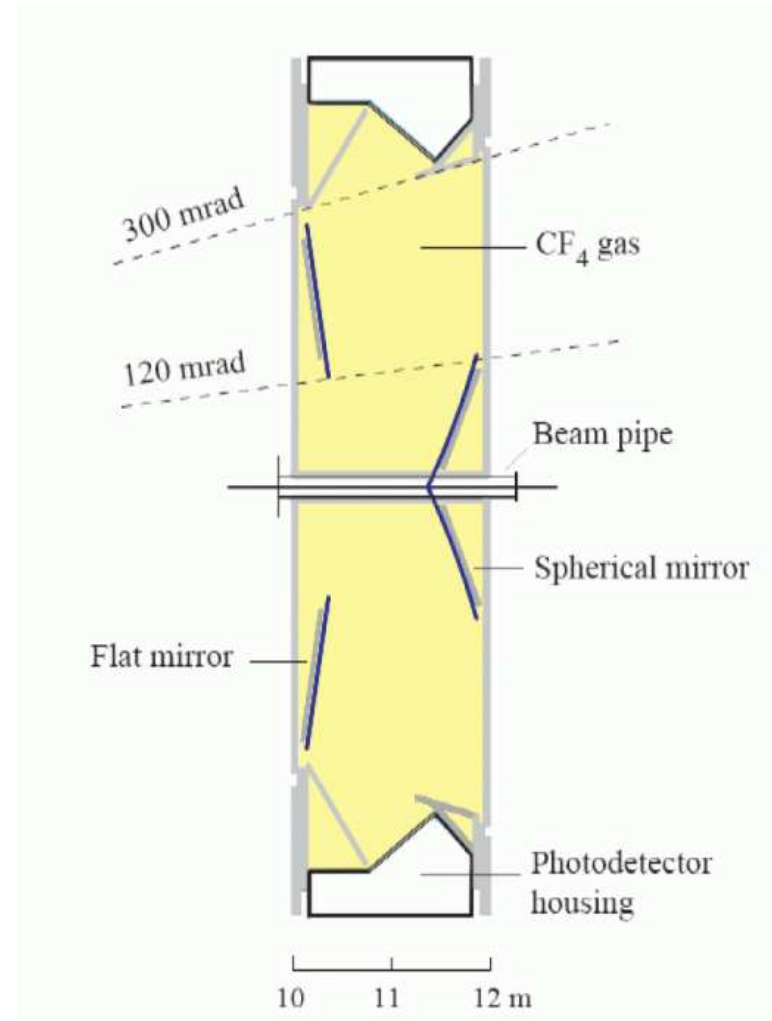
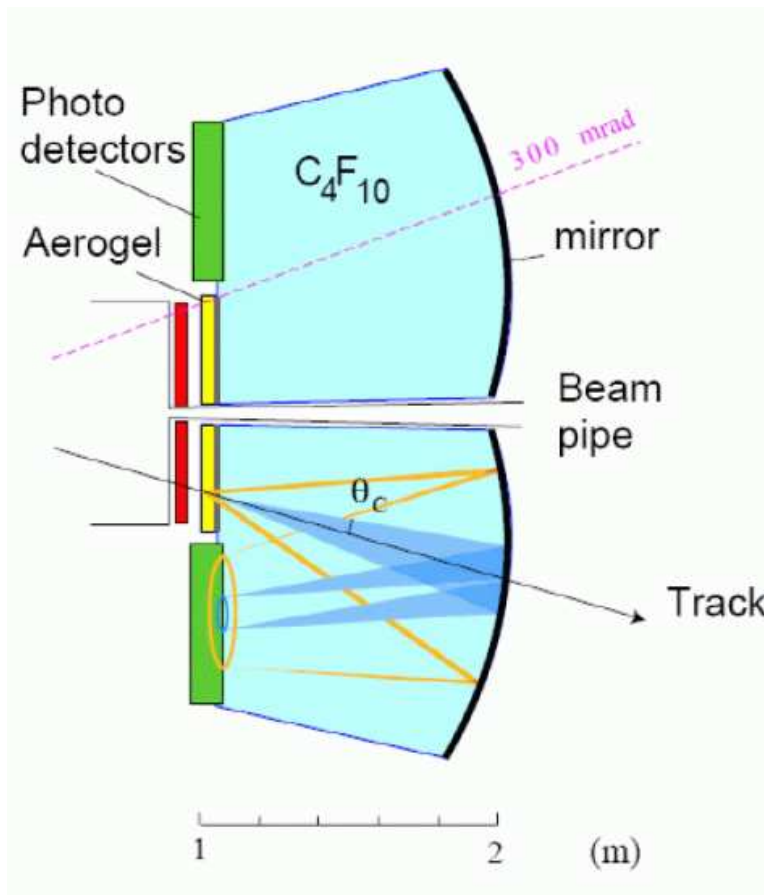
Run: 41541 Event: 1181

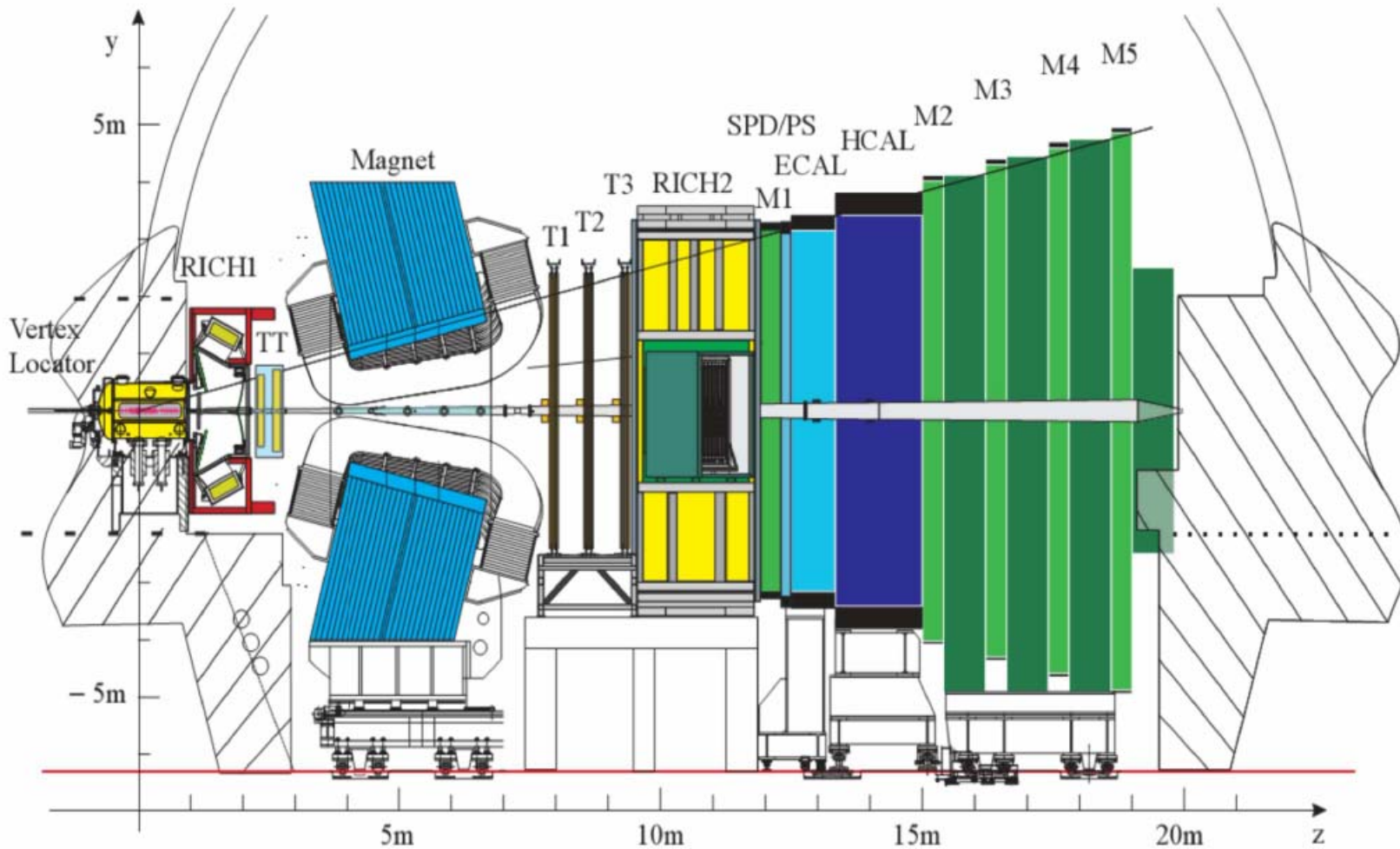


Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

@ LHCb

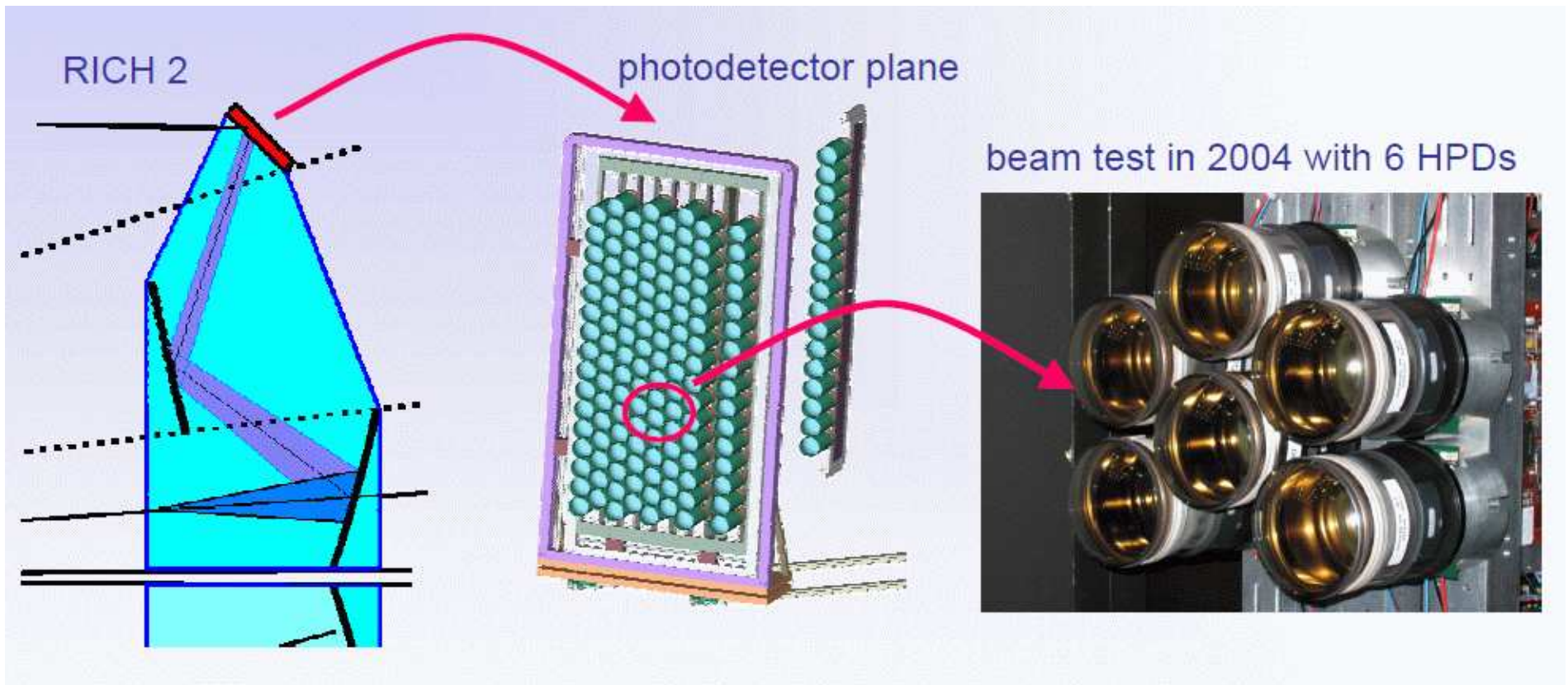




Identyfikacja cząstek

Detektory RICH

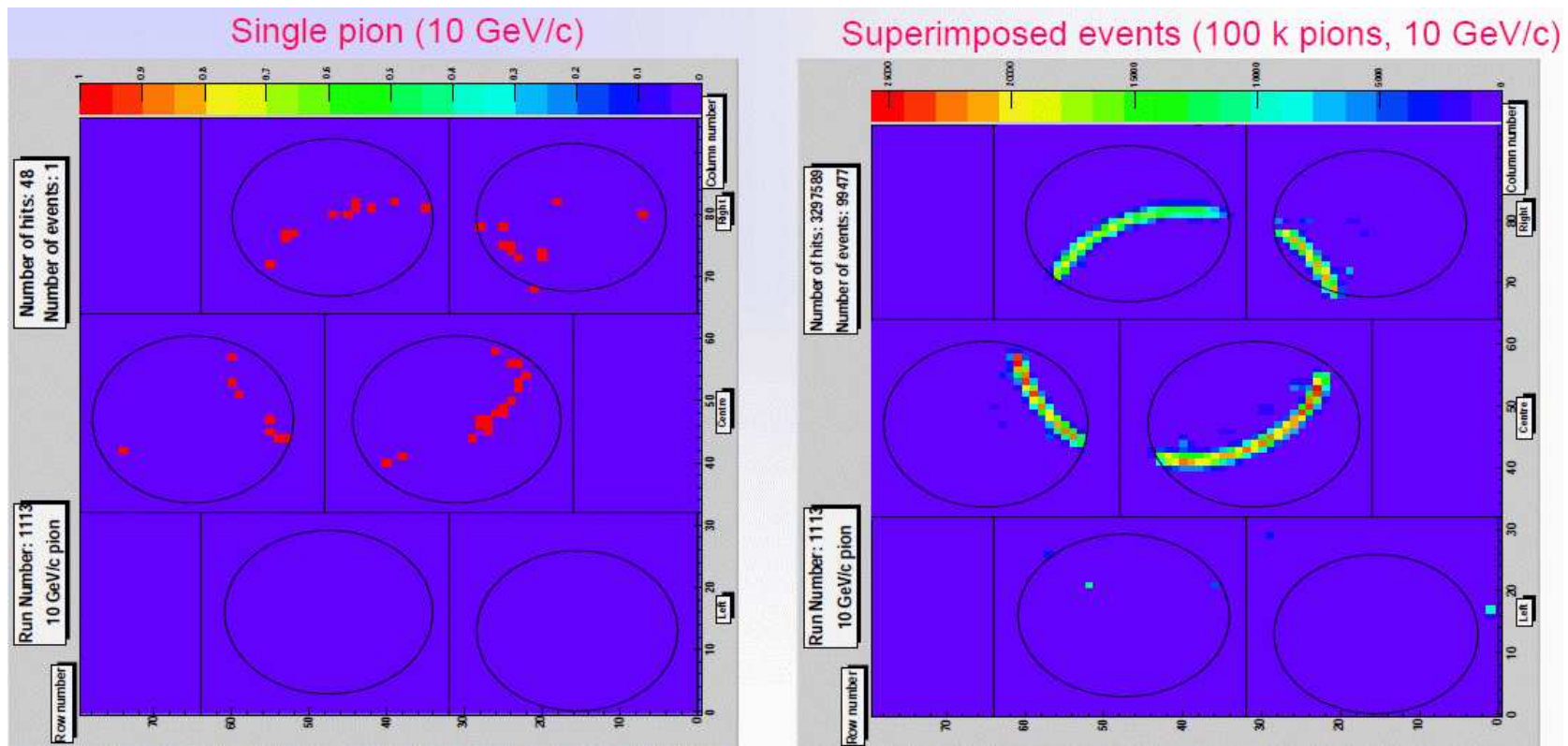
@ LHCb



Identyfikacja cząstek

LHCb

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

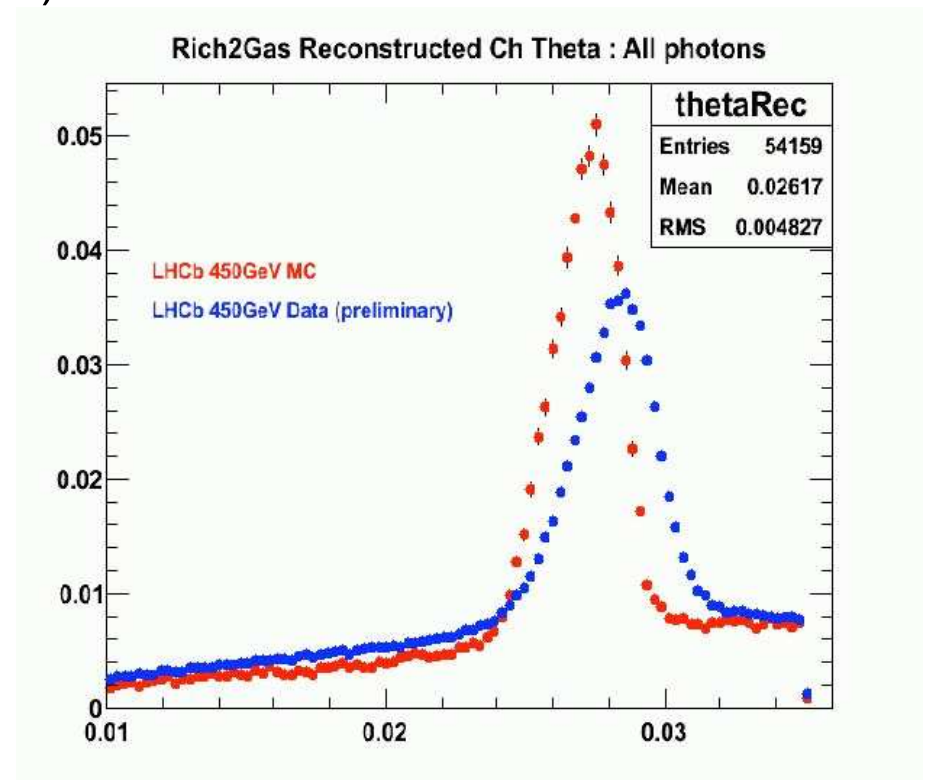
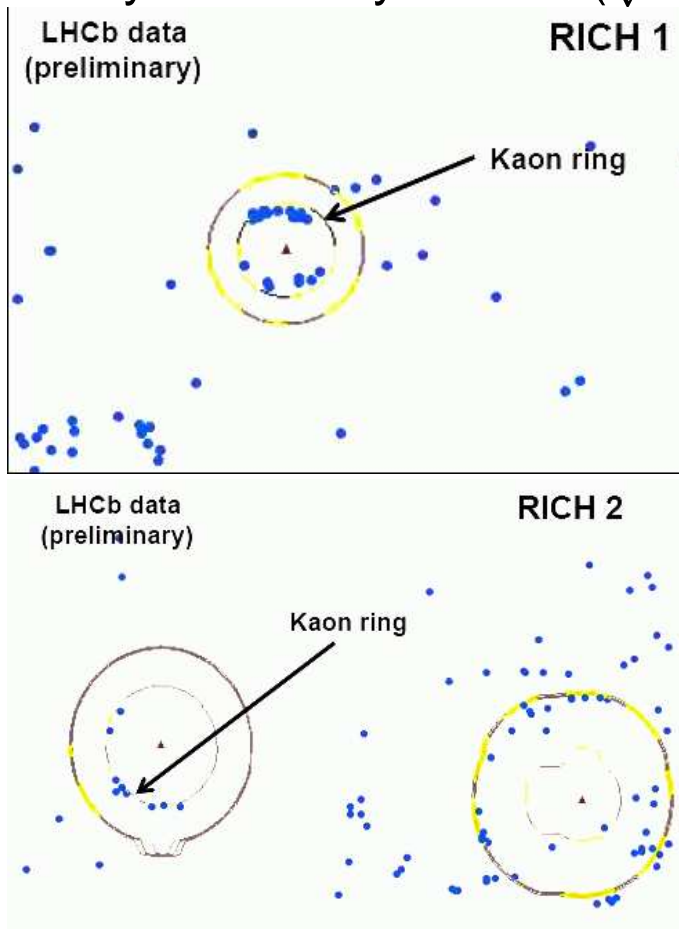


Pojedyncza cząstka: tylko kilkanaście punktów, ale wystarcza.

Identyfikacja cząstek

LHCb

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



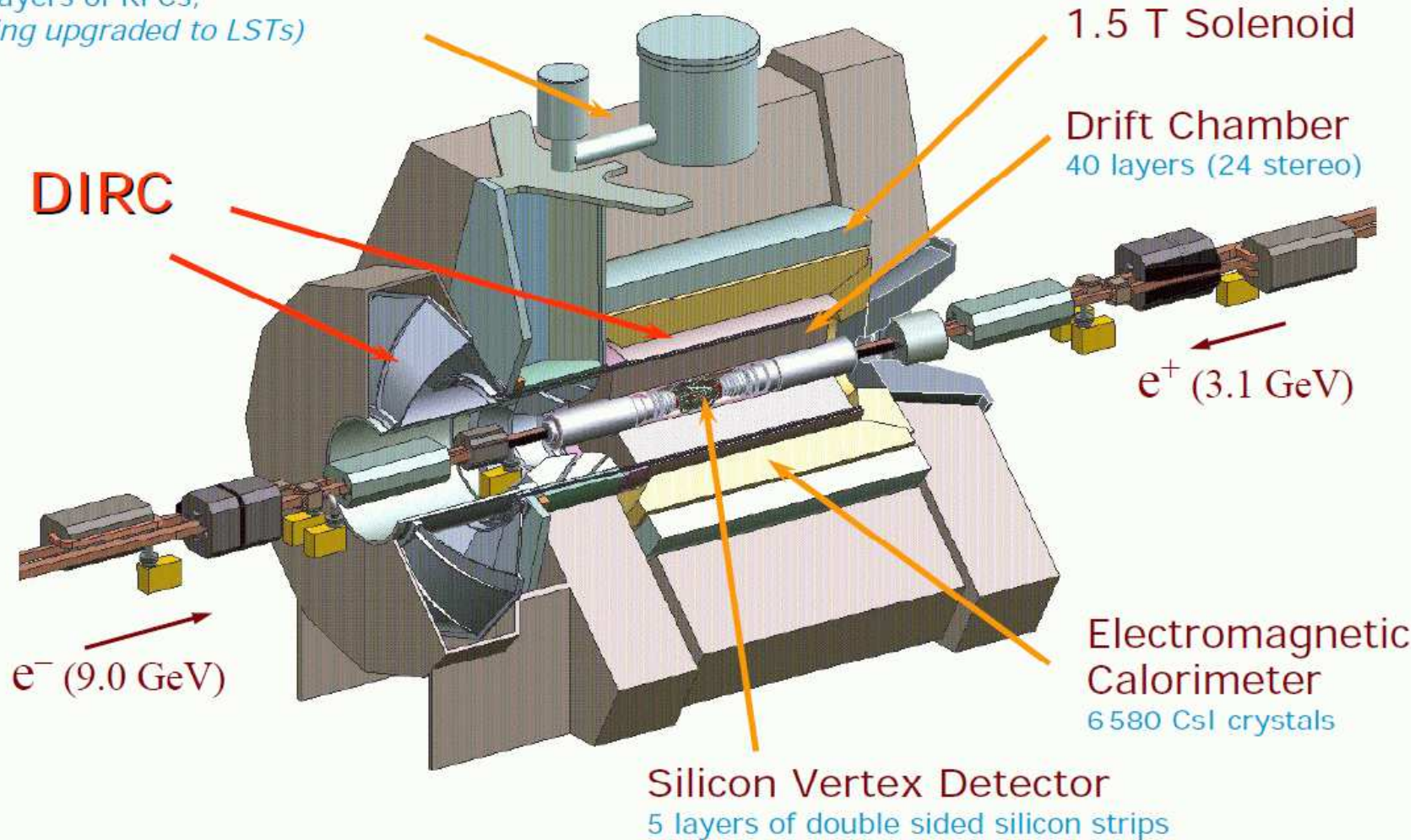
Porównanie z oczekiwanym kątem emisji
⇒ dyskryminacja π vs K

Identyfikacja cząstek

Detektor BaBar

Instrumented Flux Return

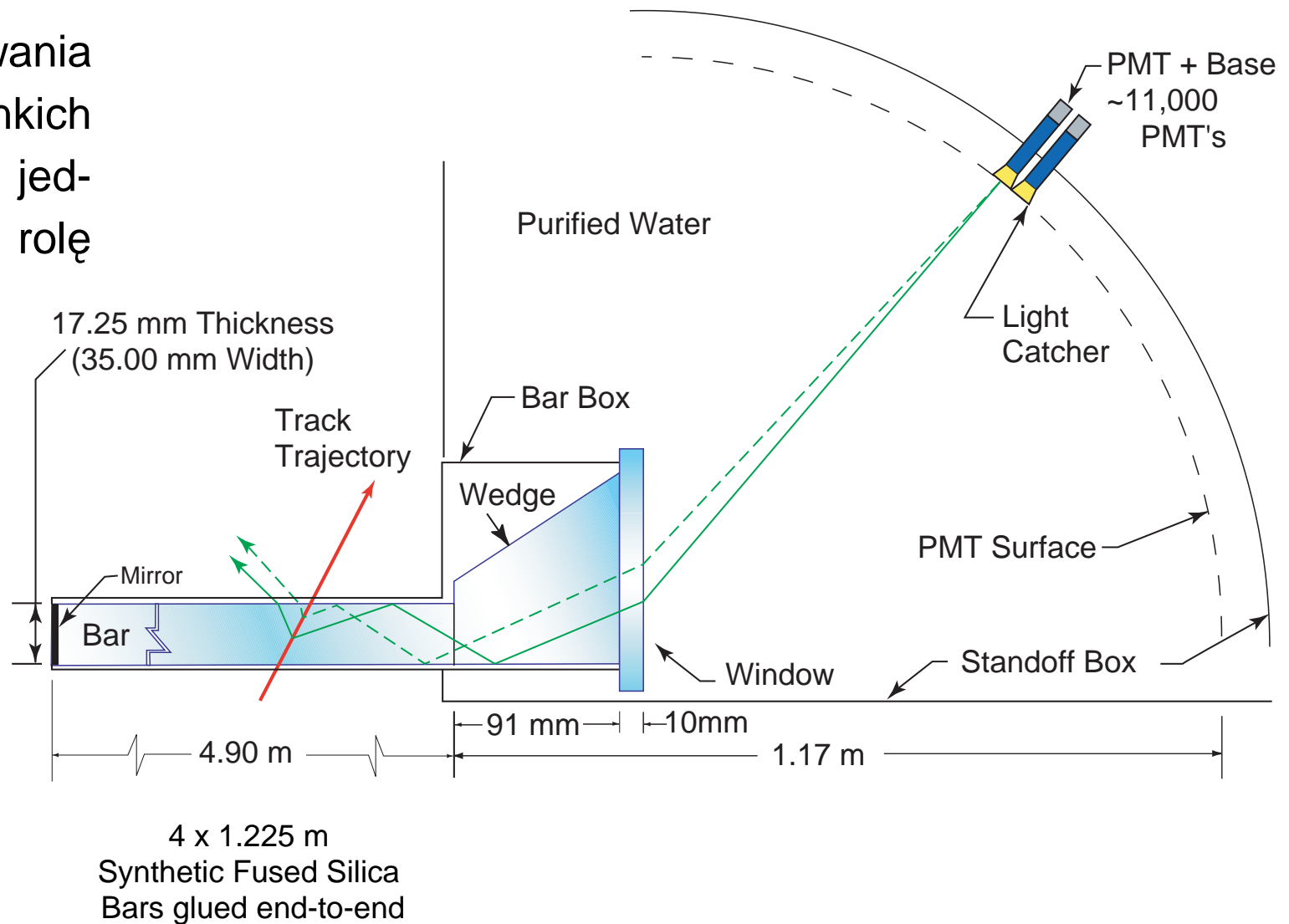
19 layers of RPCs,
(being upgraded to LSTs)



Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

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



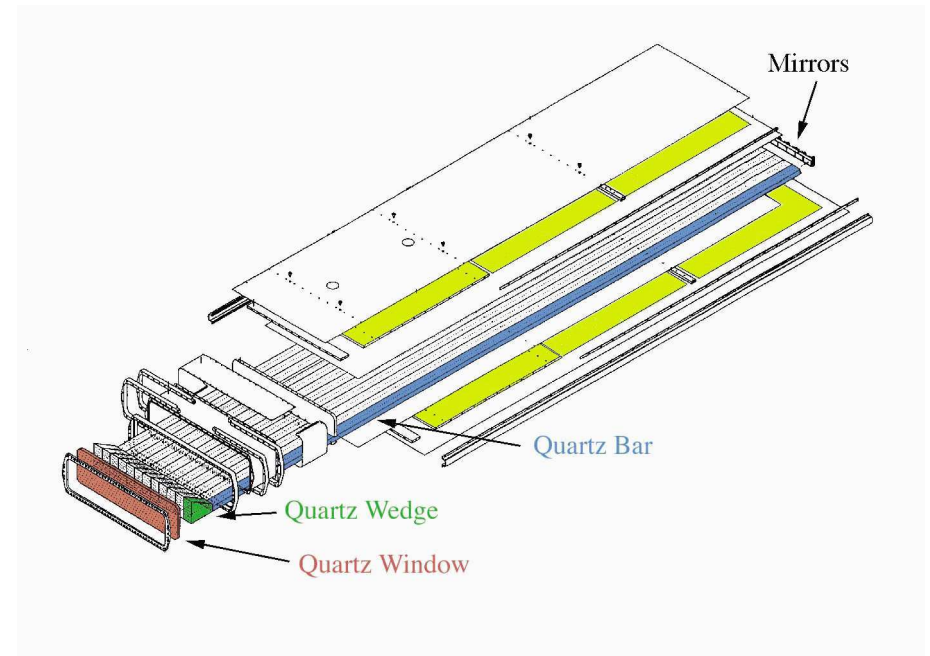
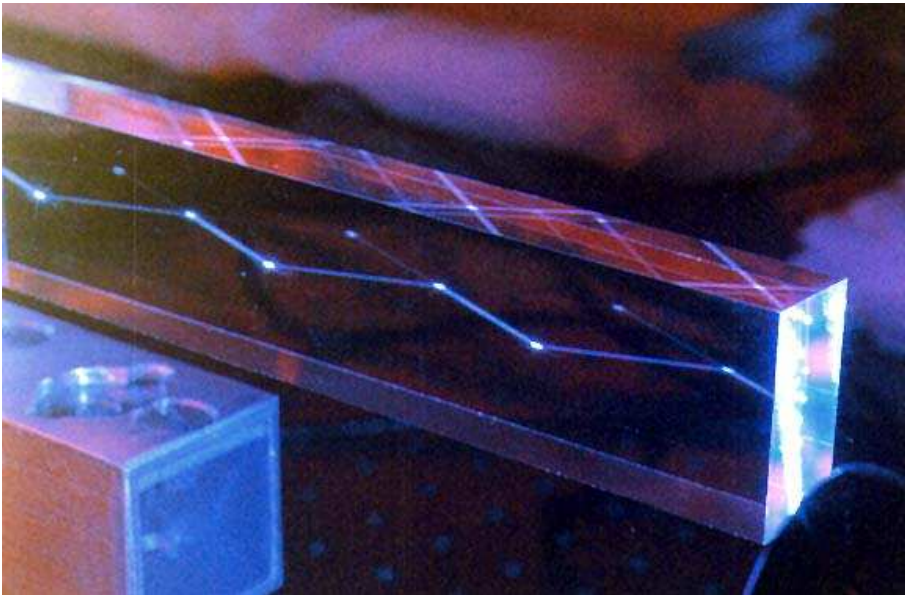
Identyfikacja cząstek

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](#)

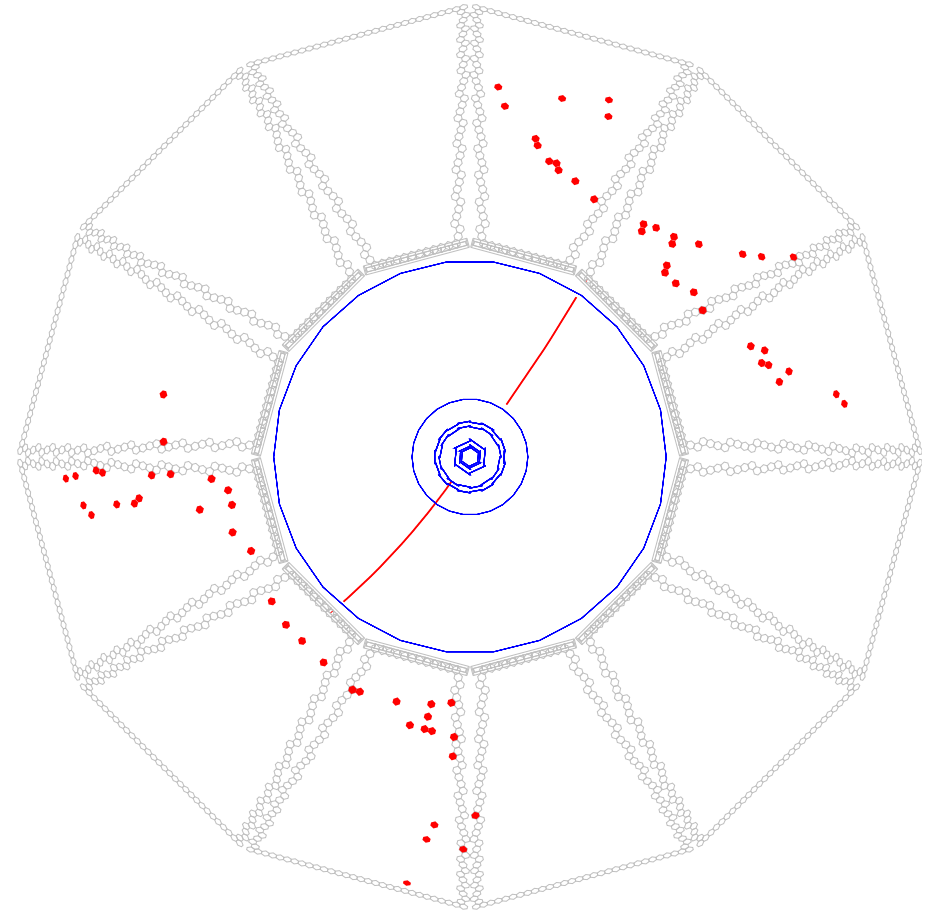
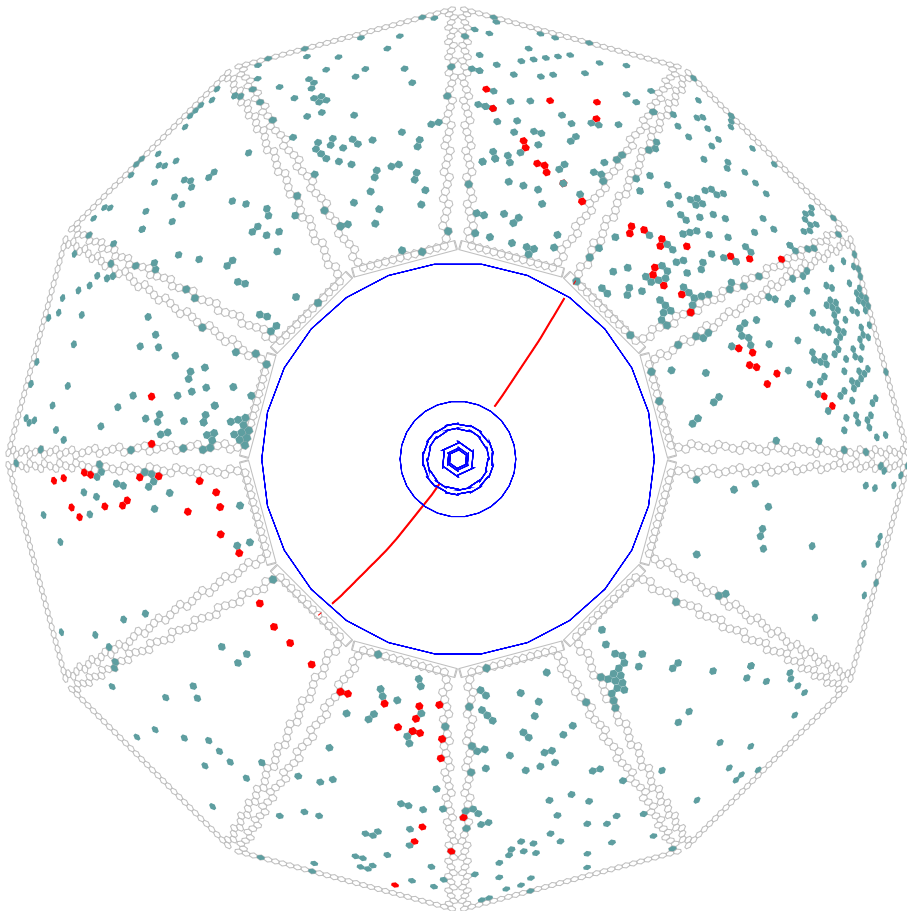
Widok płaszczyny fotopowielaczy i otwartego zbiornika wodnego



Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

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



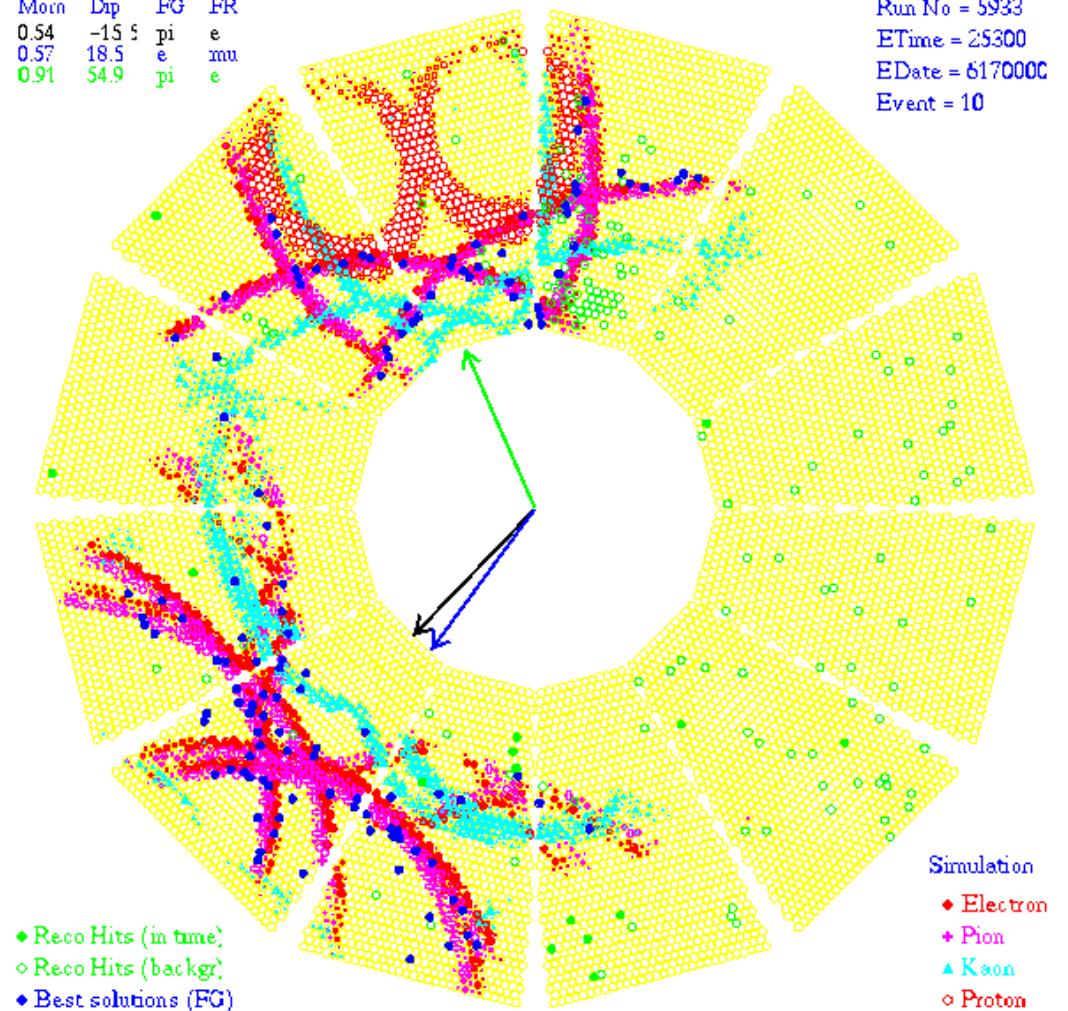
Identyfikacja cząstek

DIRC @BaBar

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

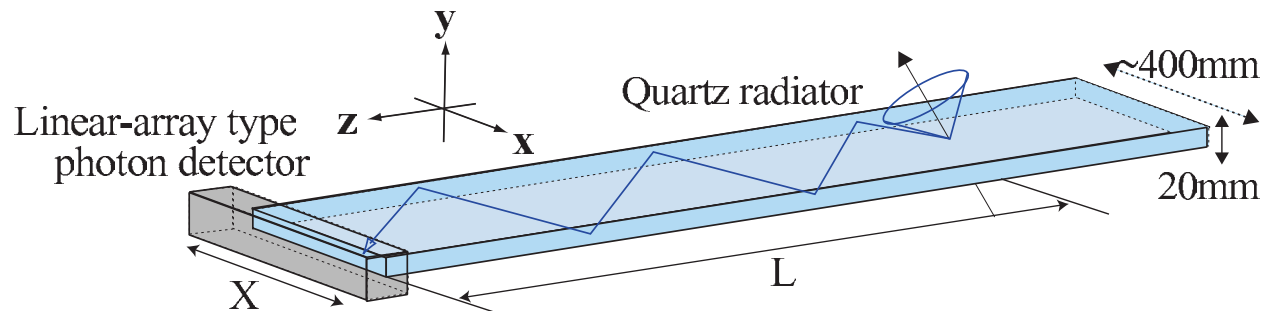
Mom	Dip	FG	FR
0.54	-15.5	pi	e
0.57	18.5	e	mu
0.91	54.9	pi	e

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

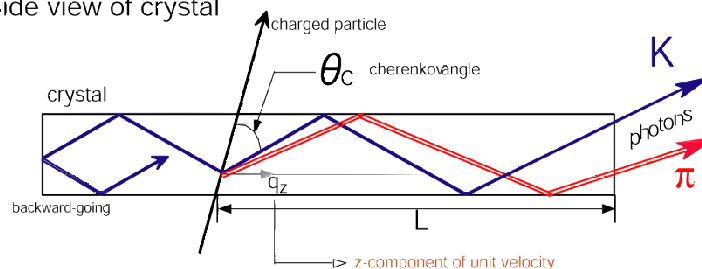


TOP counter

- Cherenkov ring imaging using timing information



Side view of crystal



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

Difference of path length

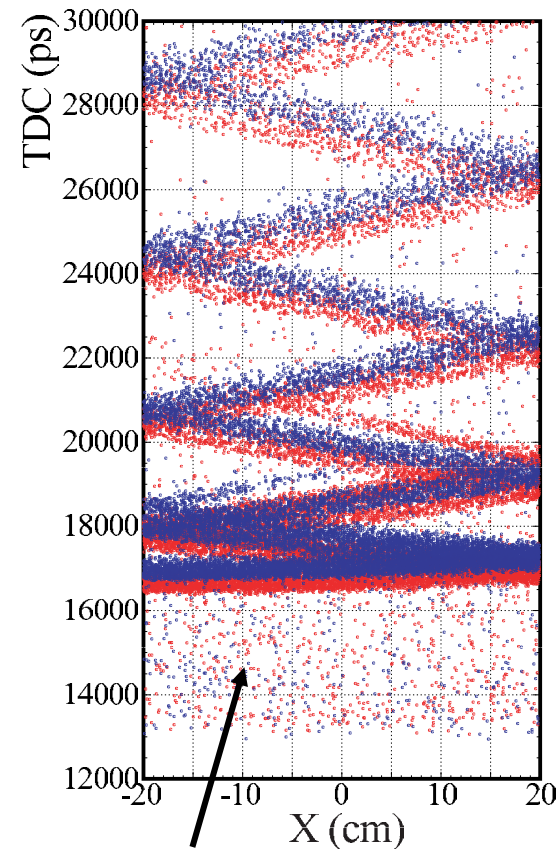
→ Difference of **time of propagation (TOP)**

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

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

Simulation

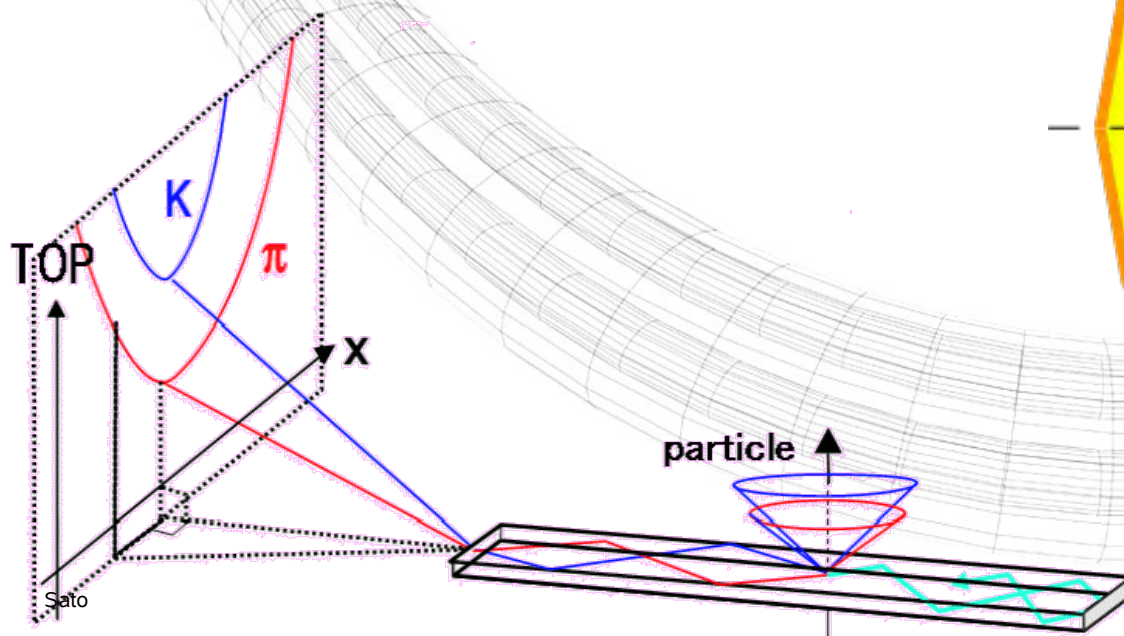
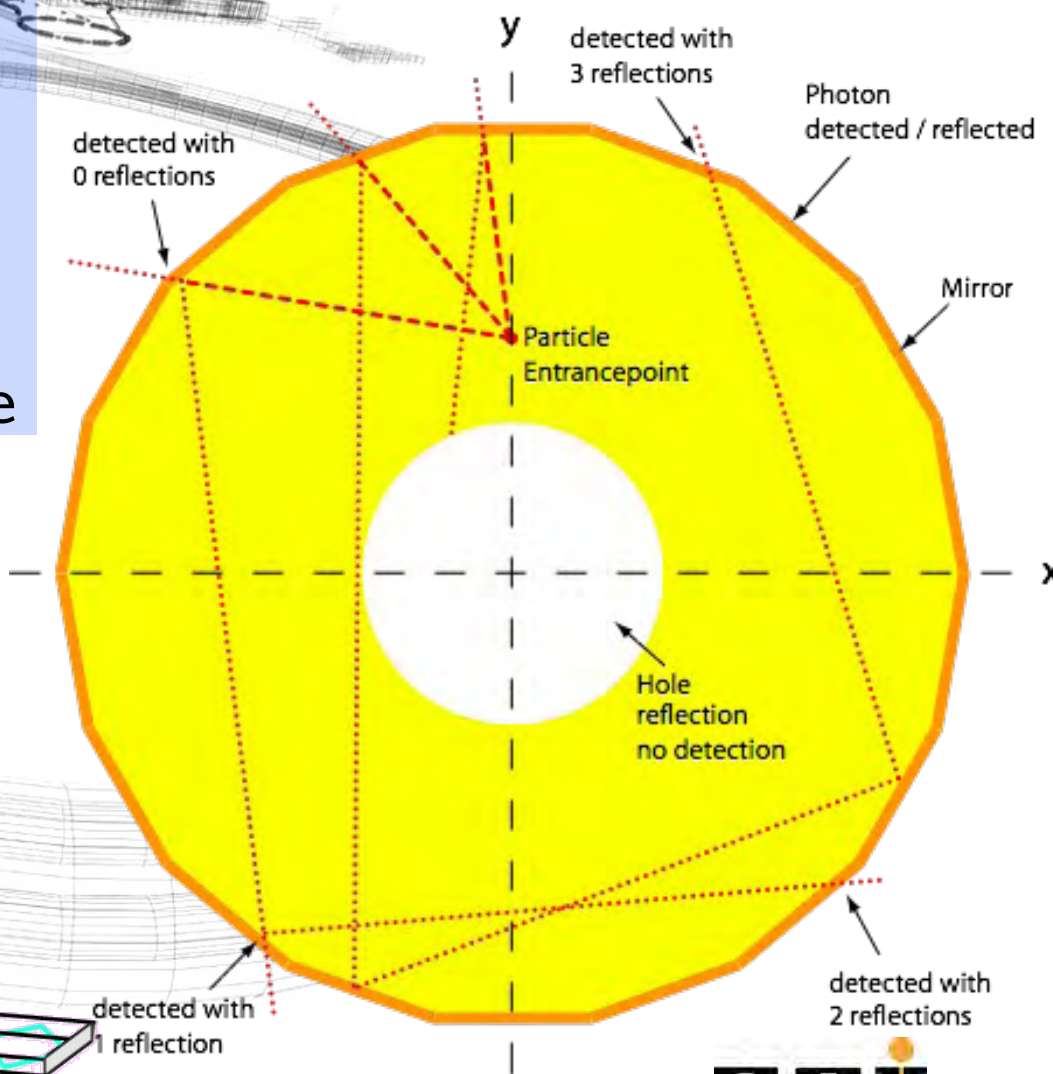
2GeV/c, $\theta = 90$ deg.



δ -ray,
had. int.

Setup of Endcap Cherenkov

- DIRC principle
- Disc shaped fused silica radiator
2.1 m diameter
- Measure coordinate and time
- Dispersion correction through dichroic filters or second coordinate



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

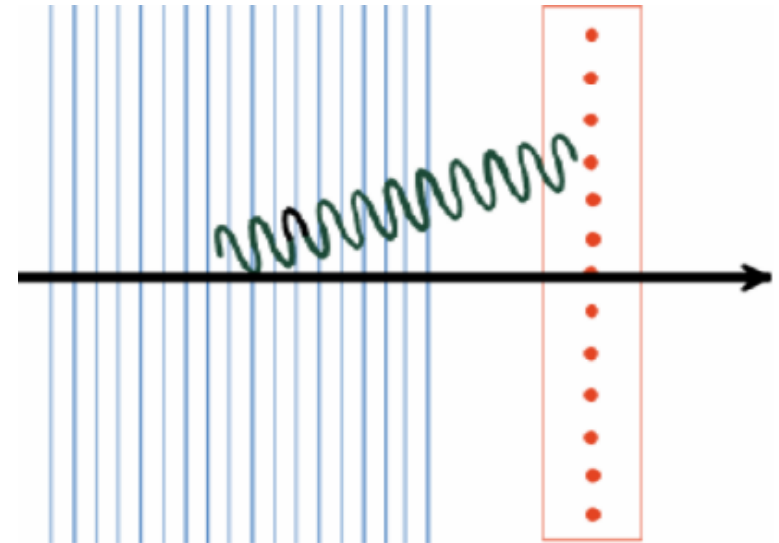
⇒ prawdopodobieństwo emisji $\sim \alpha = \frac{1}{137}$

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

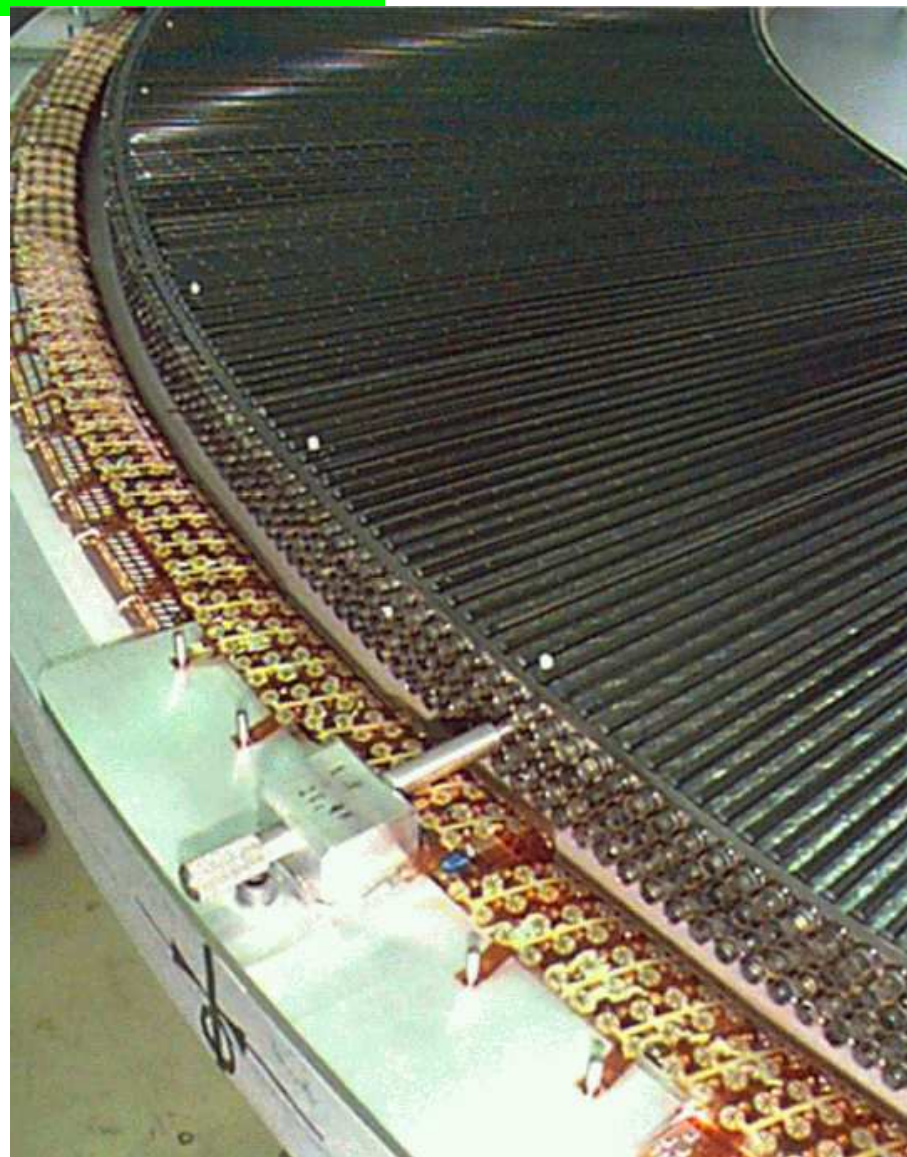
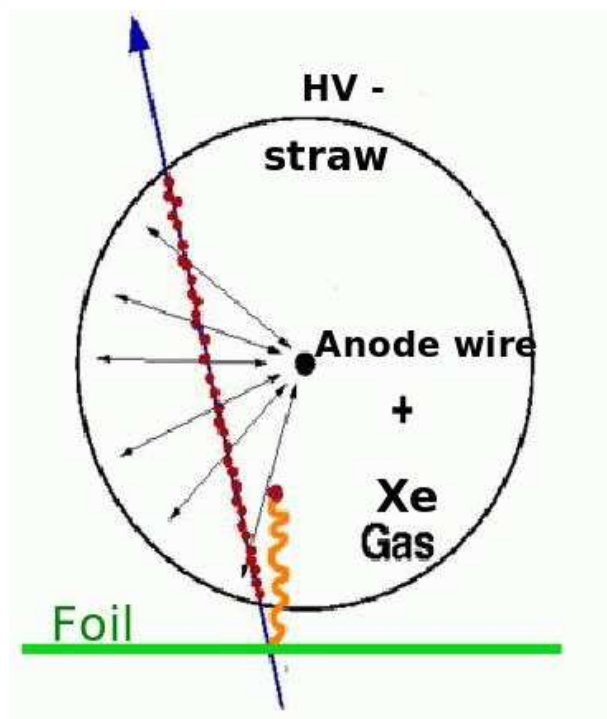
Najczęściej wykorzystywane do rozróżniania e^\pm / π^\pm przy wysokich pędach



Promieniowanie przejścia

ATLAS

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

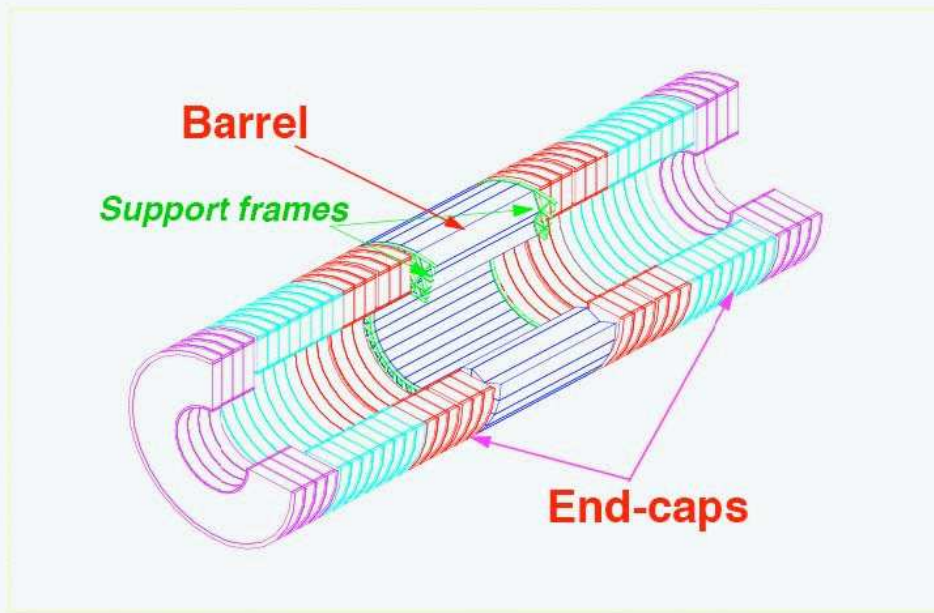


Ksenon - efektywna absorpcja X (10-30 keV)

Promieniowanie przejścia

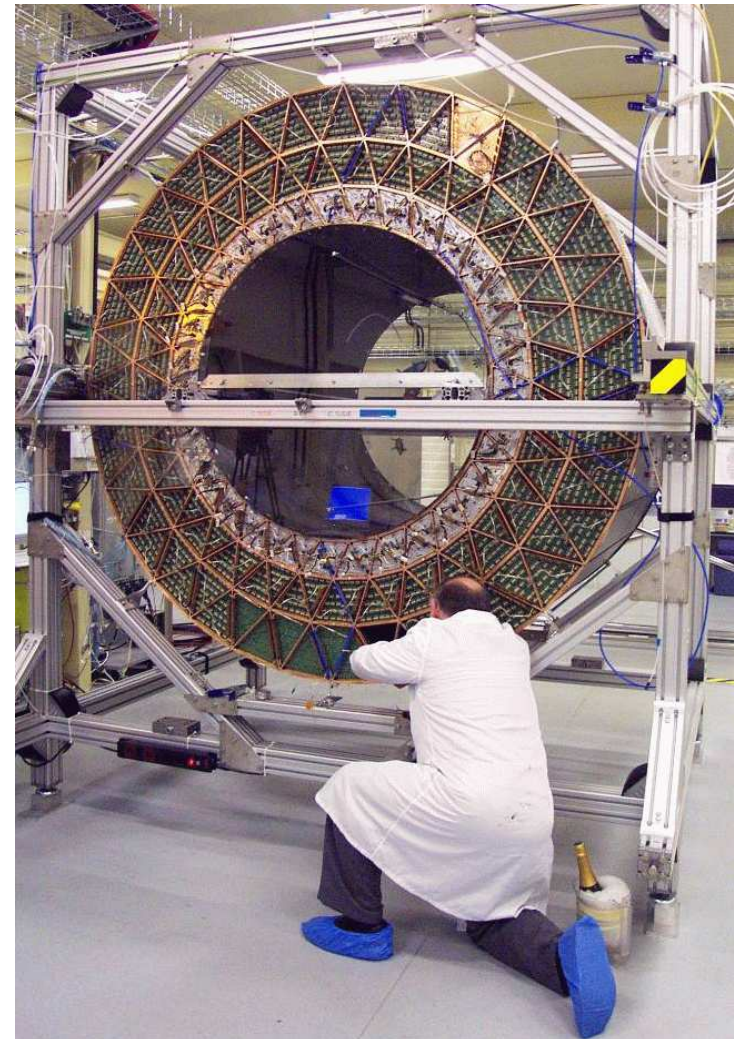
ATLAS

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

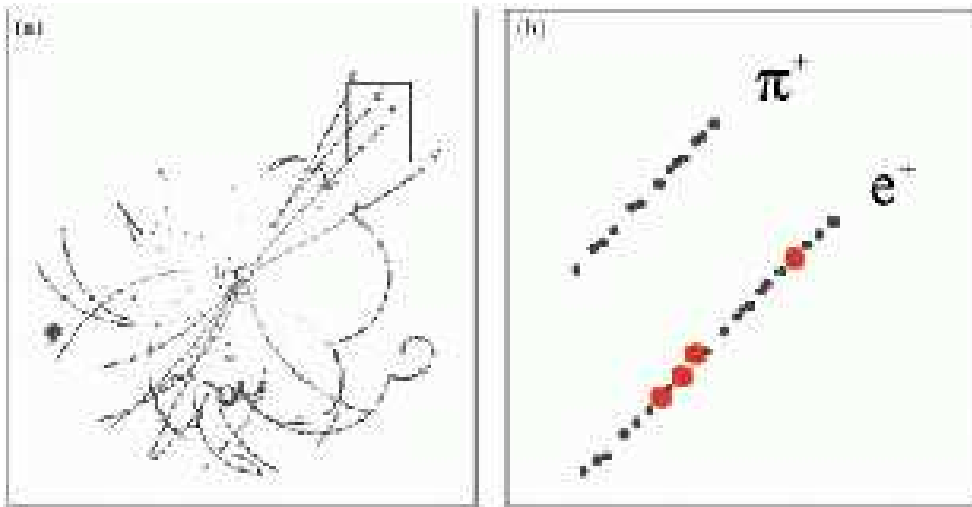
Transition Radiation Tracker (barrel)



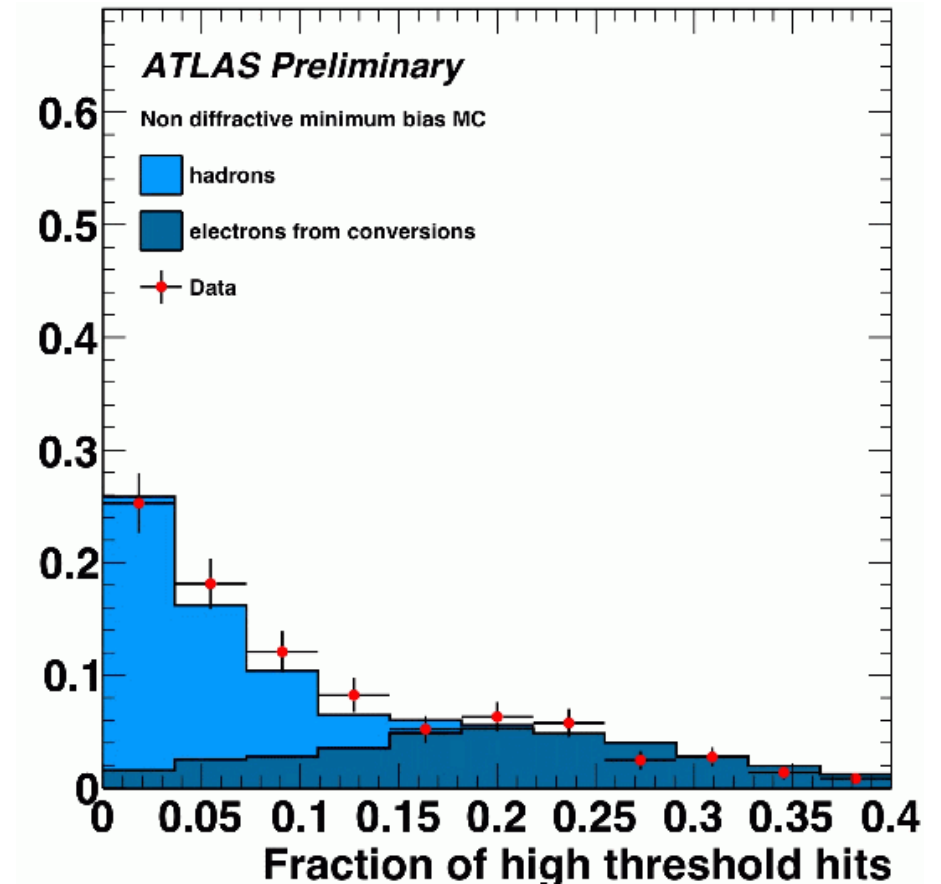
Promieniowanie przejścia

ATLAS

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



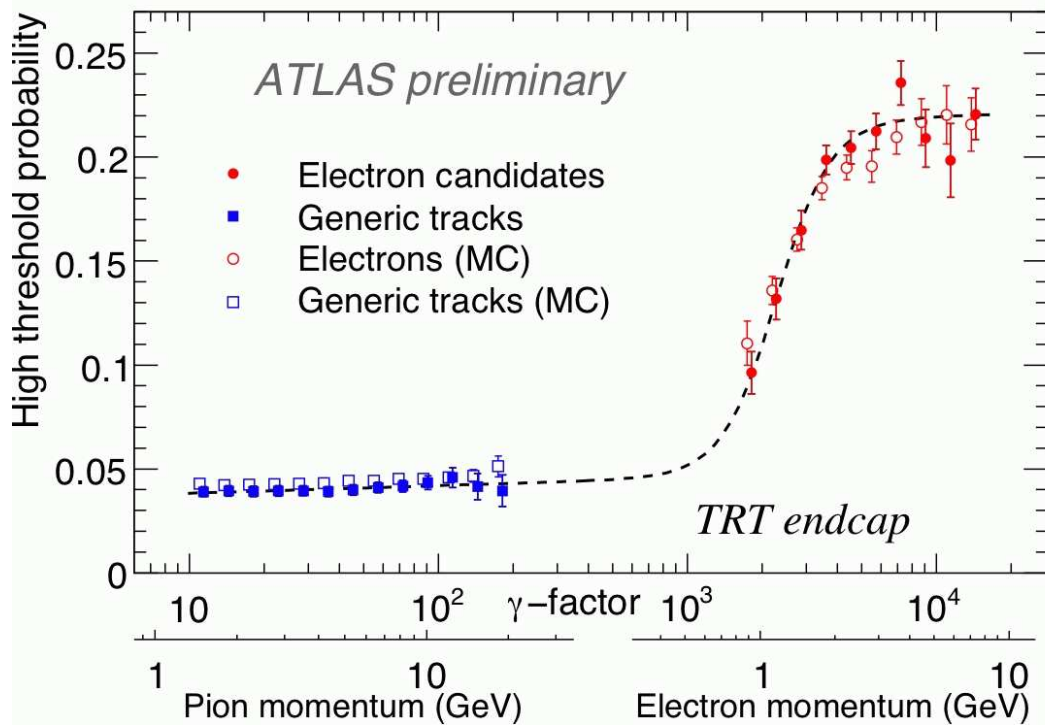
Ułamek dużych depozytów wskazuje na typ cząstki. Pierwsze dane LHC:



Promieniowanie przejścia

ATLAS

Prawdopodobieństwo depozytu powyżej progu, dla pojedynczej warstwy detektora:



Dyskryminacja e vs π @ 20GeV:

