Rivelatori Cherenkov

Nadia Pastrone

Lezioni sui Rivelatori - Torino - 3 maggio 2004

- Effetto Cherenkov
- Rivelatori Cherenkov a soglia
- Rivelatori Cherenkov differenziali
- RICH: Ring Imaging Cherenkov Counters
- DIRC: Detector of Internally Reflected Cherenkov light
- Fotorivelatori

Effetto Cherenkov

Particelle cariche, che attraversano un mezzo denso con velocita' superiore a quella con cui si propaga la luce nello stesso mezzo, emettono radiazione elettromagnetica (e.m.) che si propaga con un fronte d'onda conico. (Analogia con onda d'urto meccanica generata dagli aerei supersonici)

L'energia spesa dalla particella "superluminale" nel polarizzare gli atomi del mezzo, lungo la sua traiettoria, viene restituita dal mezzo nel processo di diseccitazione sotto forma di radiazione coerente (onda d'urto e.m.).

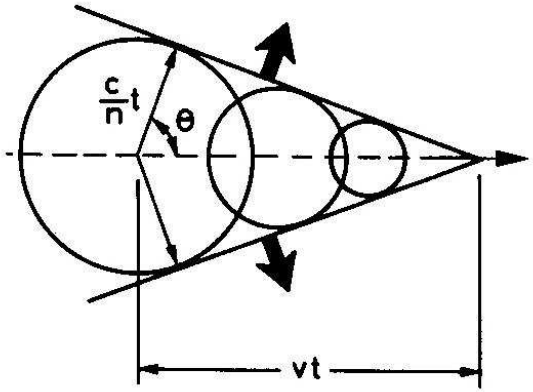
Effetto Cherenkov

Mezzo dielettrico caratterizzato da: n = indice di rifrazione
Velocita' della luce in un mezzo: c/n (c velocita' della luce nel vuoto)
Velocita' di una particella carica: $v = \beta c$

Es: velocita' luce in acqua = 0.75 c

$$v > c/n \qquad \cos\theta = (ct/n) / (\beta ct) = 1/\beta n$$

$$\beta > 1/n$$



Prevista dalla teoria di Maxwell, l'esistenza di questa radiazione fu provata sperimentalmente dal fisico russo Pavel Cherenkov nel 1934.
Il'ja Frank & Igor Tamm calcolarono lo spettro della radiazione e la relazione tra angolo di emissione e indice di rifrazione del mezzo.

(Cherenkov, Frank e Tamm - Premio Nobel 1958)

Contatori Cherenkov

Vengono utilizzati per misurare la velocita' β delle particelle cariche e, noto il loro impulso $p = m\ v$, per determinarne la massa m.
Servono ad identificare le particelle, ad esempio usando rivelatori di tracce in campo magnetico, che ne misurino l'impulso.

COMPONENTI PRINCIPALI:

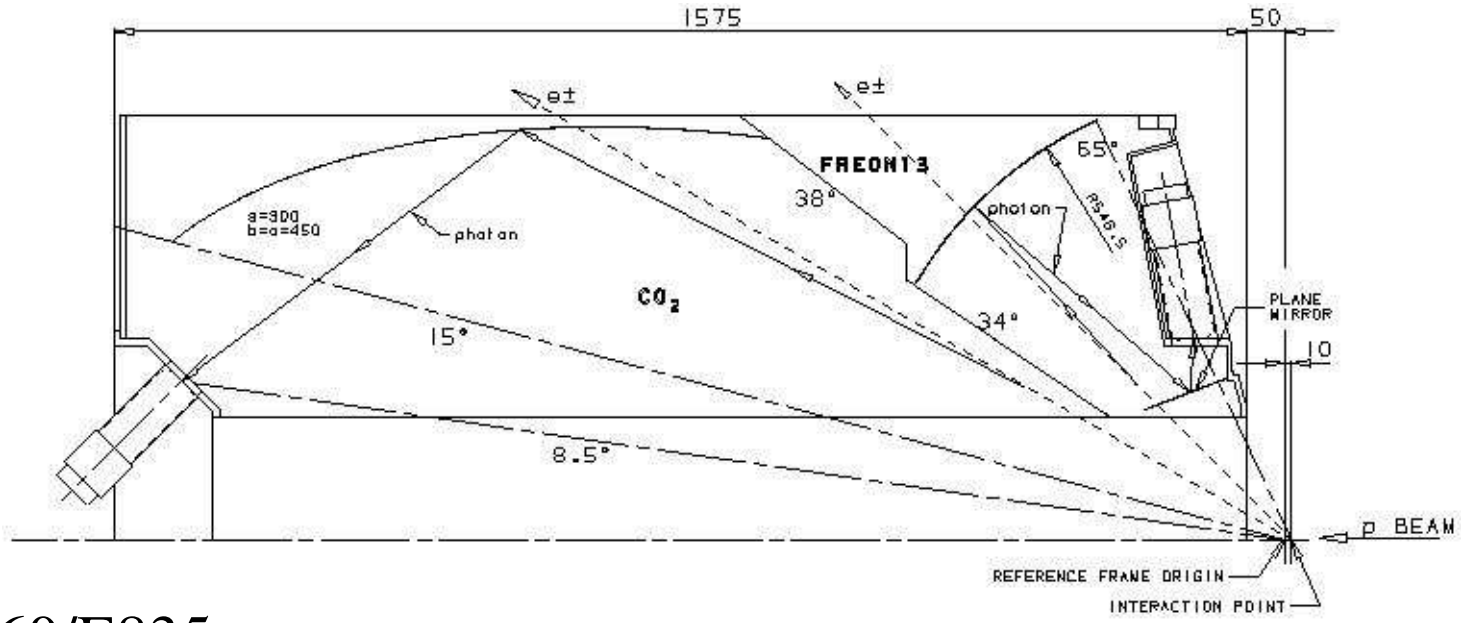
1. Radiatore: mezzo che produce la luce all'attraversamento di particelle cariche di opportuna velocita' di lunghezza L
2. Raccolta di luce
3. Fotorivelatore

$$N_{\mathbf{fotoni}} = N_0\ L \sin^2 \theta$$

$N_{\mathbf{fotoni}}$ e' funzione decrescente della lunghezza d'onda della luce emessa

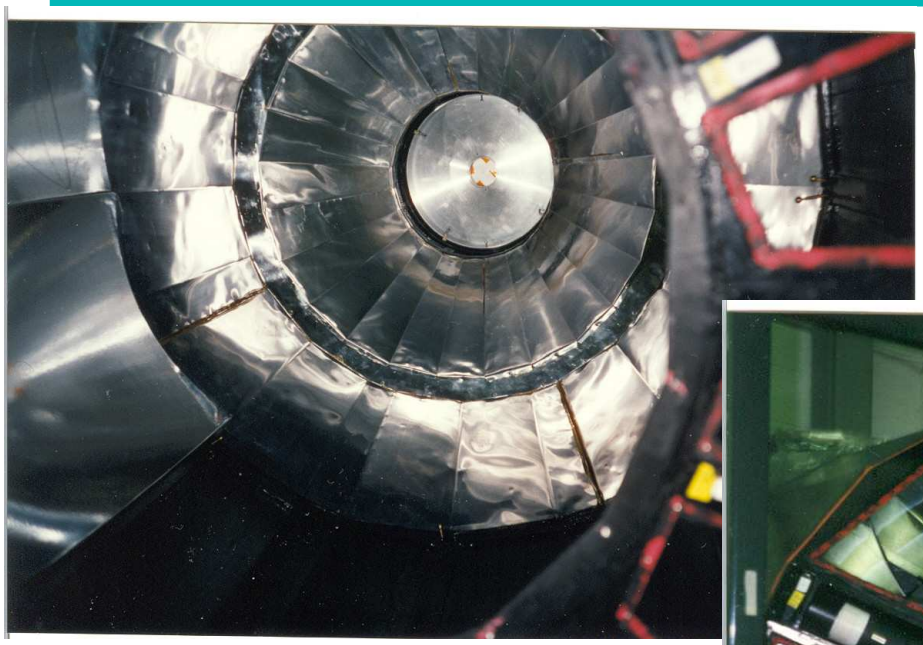
Contatori Cherenkov a soglia

Solo particelle con velocita' superiore al valore definito dall'indice di rifrazione danno un segnale per emissione di luce Cherenkov.
Il radiatore viene opportunamente scelto in modo da discriminare tra particelle relativistichedi uguale impulso e diversa massa.



E760/E835

Contatori Cherenkov a soglia

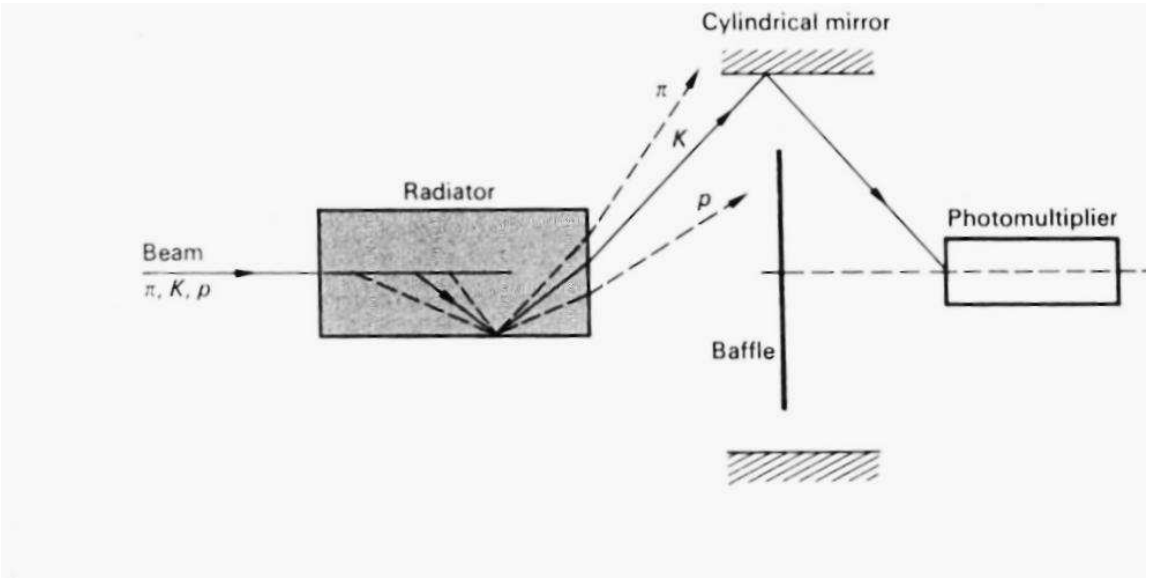


Contatore Cherenkov
FERMILAB E760/E835

Doppio radiatore
pressione atmosferica:
Freon 13
CO_2

Contatori Cherenkov differenziali

La geometria del rivelatore definisce un intervallo angolare preciso per accettare la luce Cherenkov emessa.
Risoluzioni $\Delta\beta/\beta = 10^{-5}$
Es. Contatori di fascio.

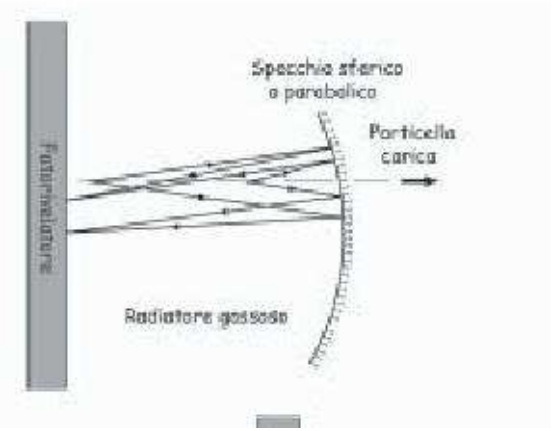


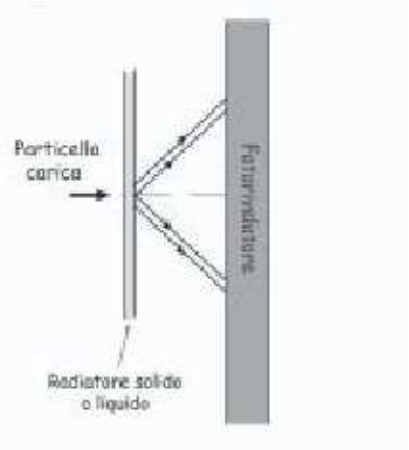
RICH

Ring Imaging Cherenkov
1977 Ypsilantis & Seguinot

- radiatore gassoso e focalizzazione immagine con specchi sferici o parabolici
- radiatore solido o liquido "sottile"
- DIRC (Detector of Internally Reflected Cherenkov light)
  la luce e' intrappolata in una barra di quarzo per riflessione totale

La velocita' β e' misurata dal raggio dall'anello su cui si rivelano i fotoni.





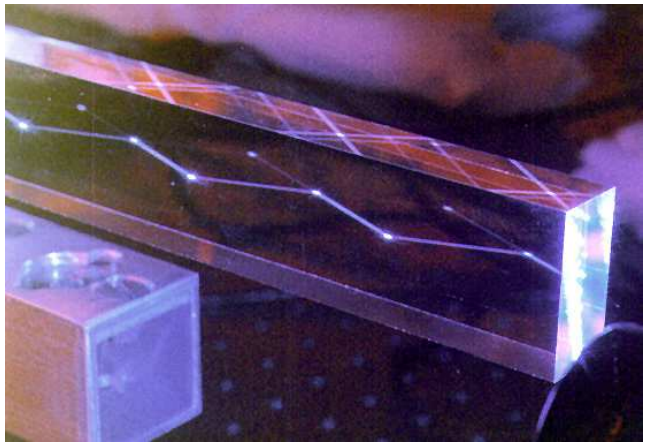
COMPASS RICH

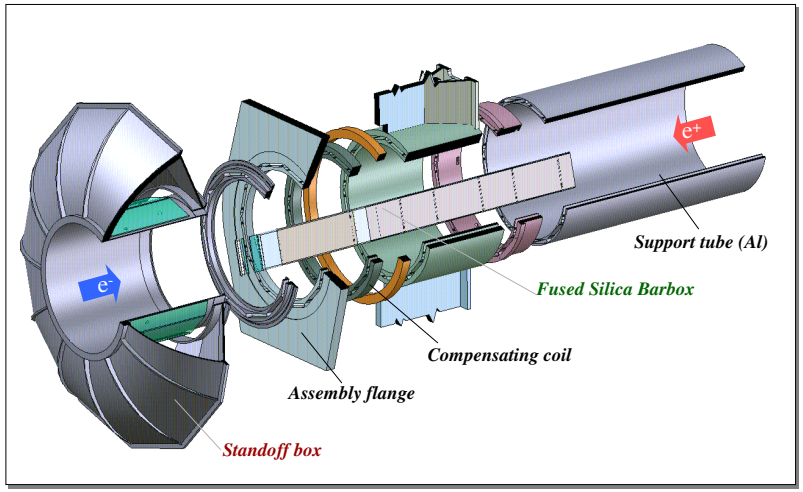
The crew: **Erich Albrecht** (CERN/EP-TA2), **Fabio Borotto** (Torino), **Marco Marengo** (Torino), **Didier Piedigrossi** (CERN/EP-TA2)

DIRC: BABAR

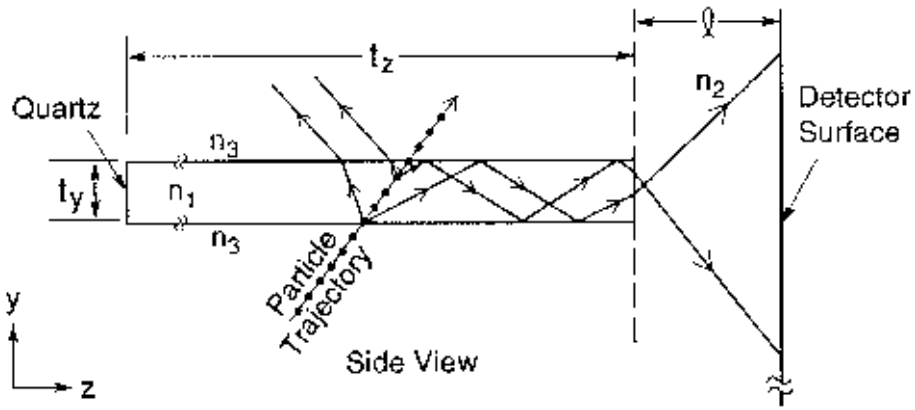
Detector of Internally Reflected Cherenkov light

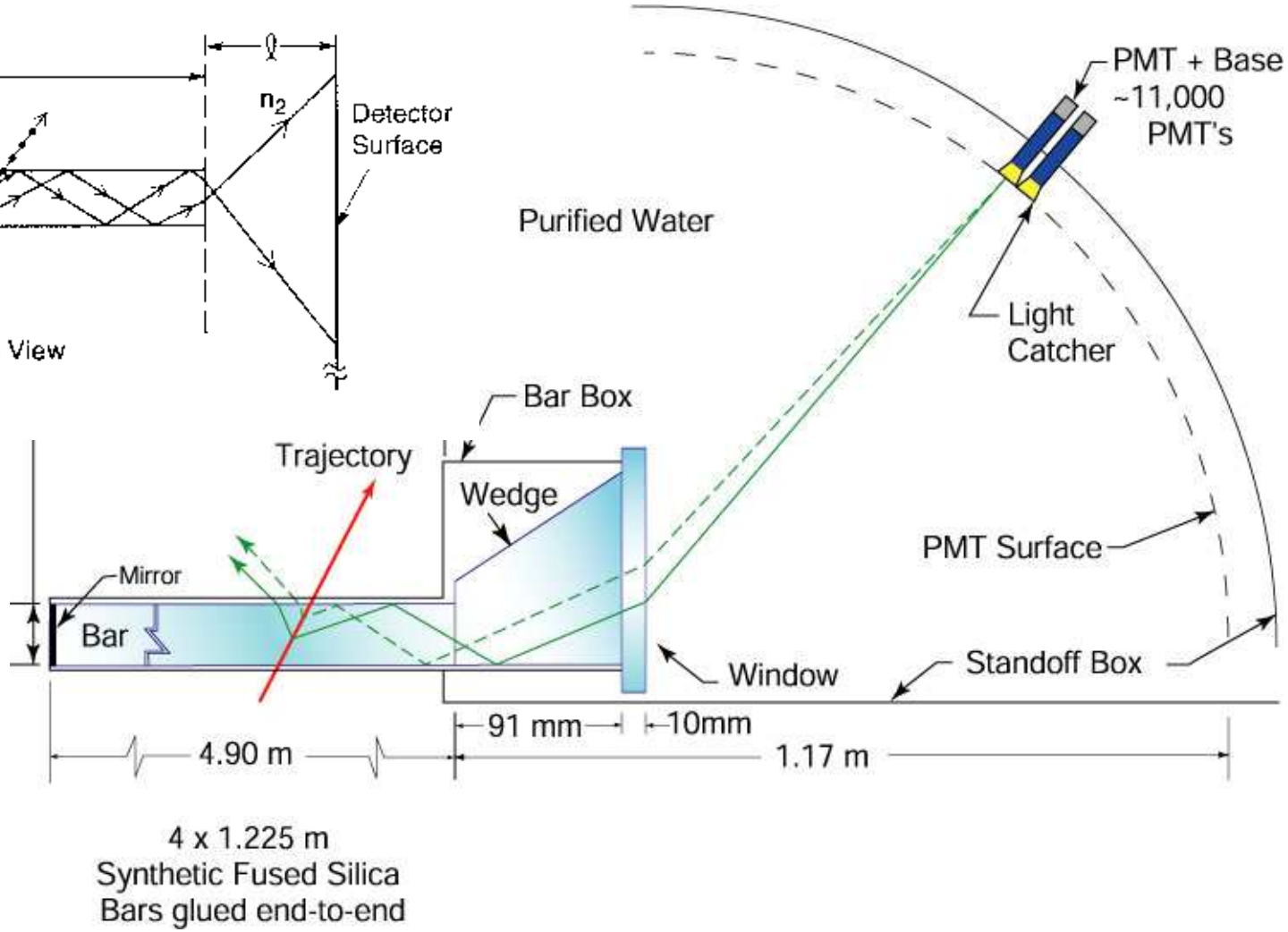
La radiazione viene intrappolata per riflessione totale in una lunga barra di quarzo attraversata dalla particella, si trasmette lungo la barra e fuoriesce ad una delle estremita' conservando l'informazione sull'angolo di emissione Cherenkov. Il radiatore e' un cilindro attorno all'asse di collisione dei fasci.



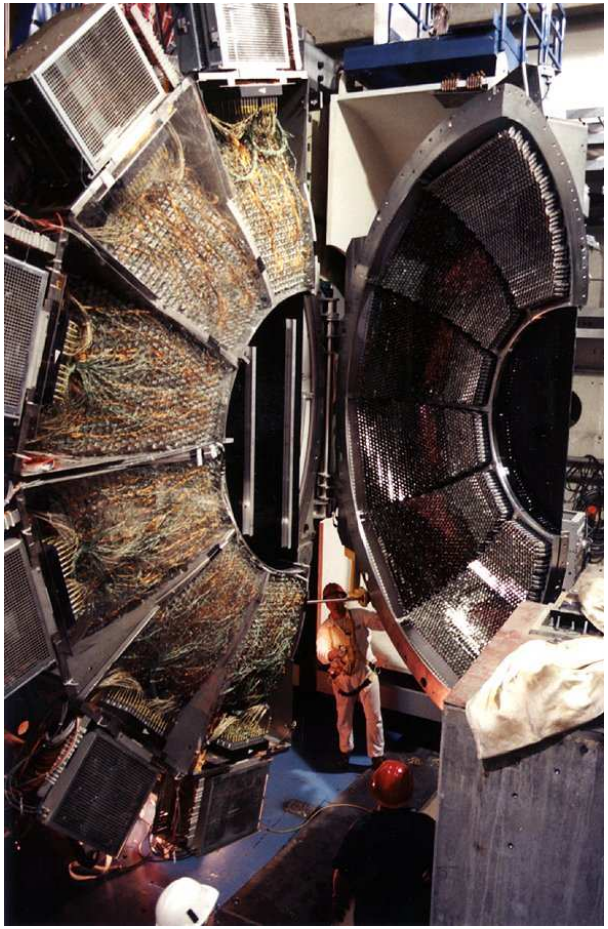


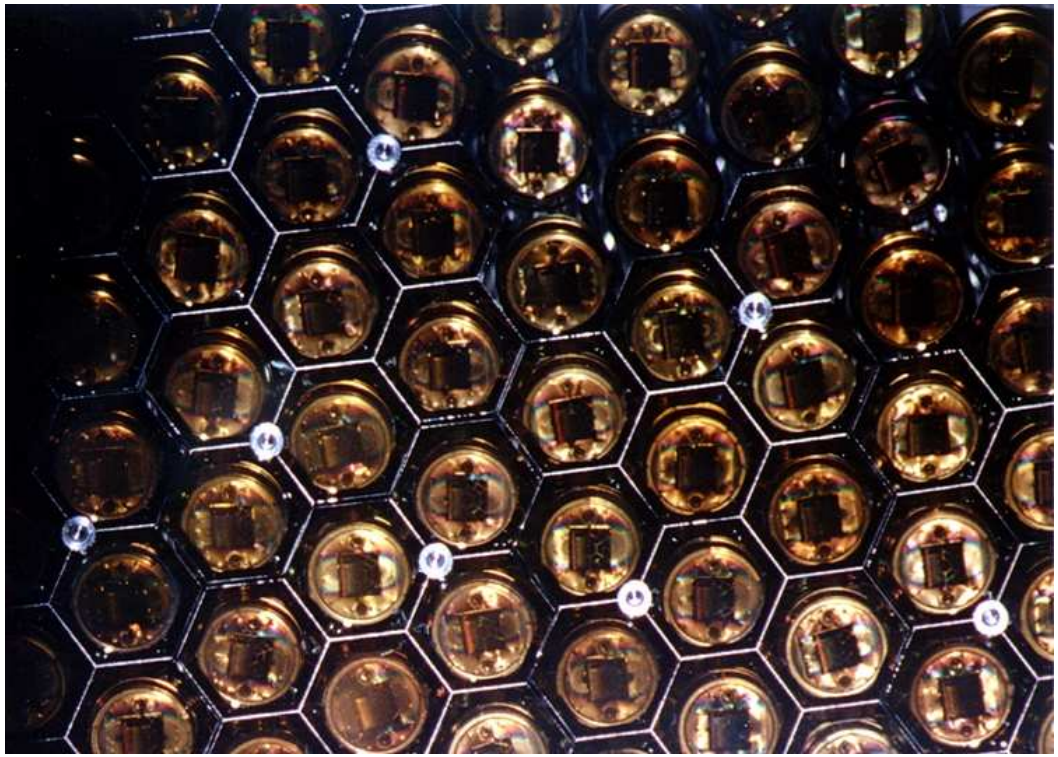
DIRC: BABAR


Quartz
t_z
t_y
n_1
n_2
n_3
n_3
Particle Trajectory
Detector Surface
Side View
y
z

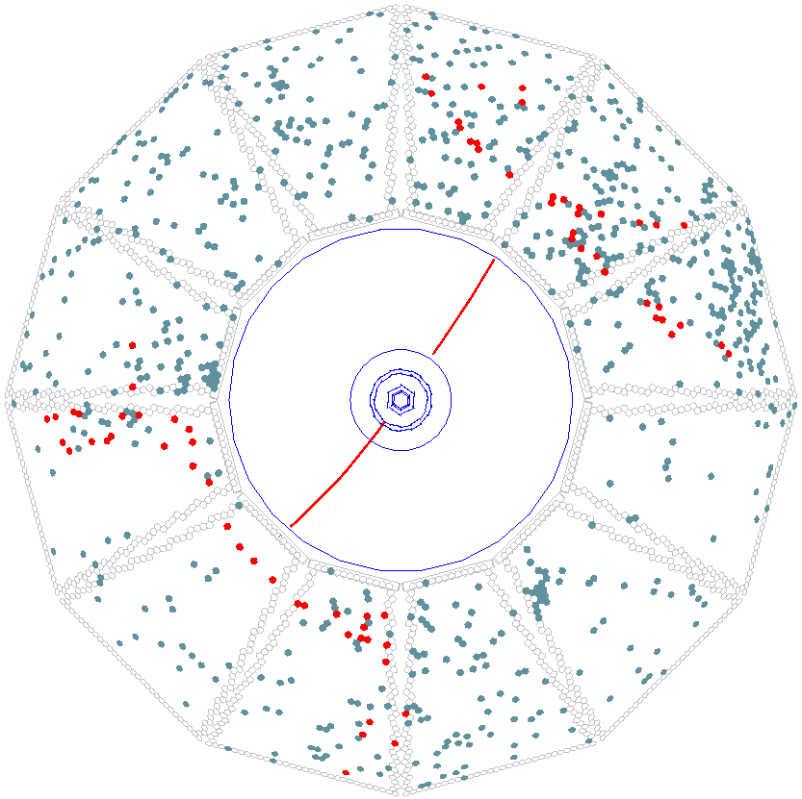

PMT + Base
~11,000
PMT's
Purified Water
Light Catcher
Bar Box
Trajectory
Wedge
PMT Surface
Mirror
Bar
Window
Standoff Box
91 mm
10mm
4.90 m
1.17 m
4 x 1.225 m
Synthetic Fused Silica
Bars glued end-to-end

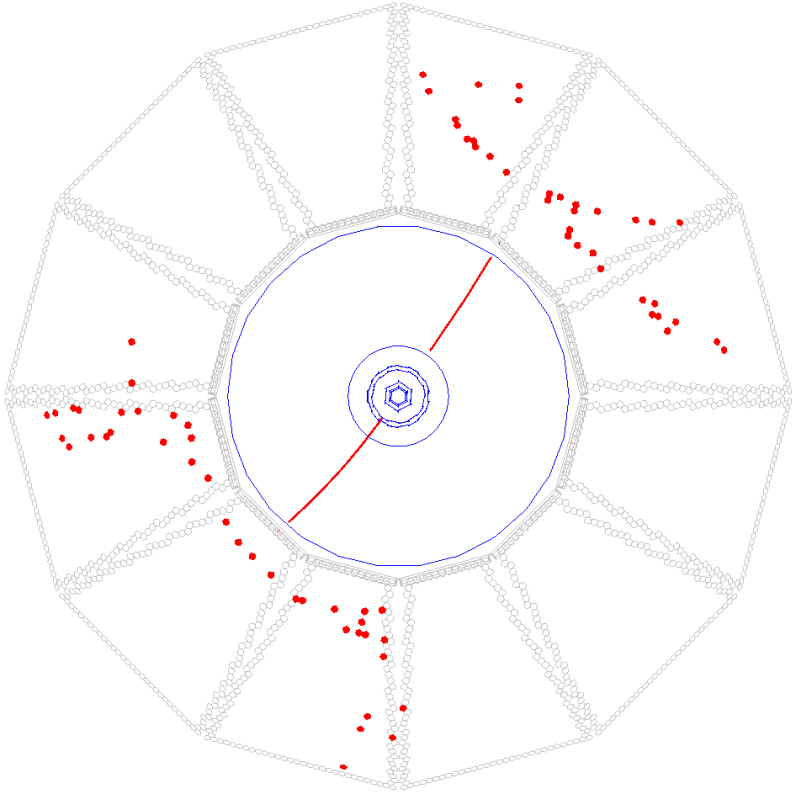
DIRC: BABAR





DIRC: BABAR

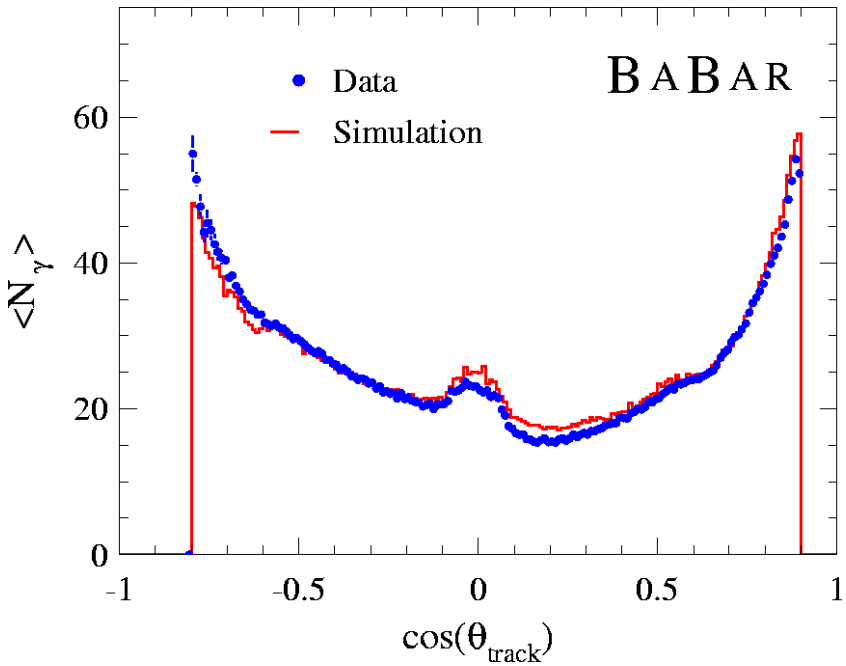


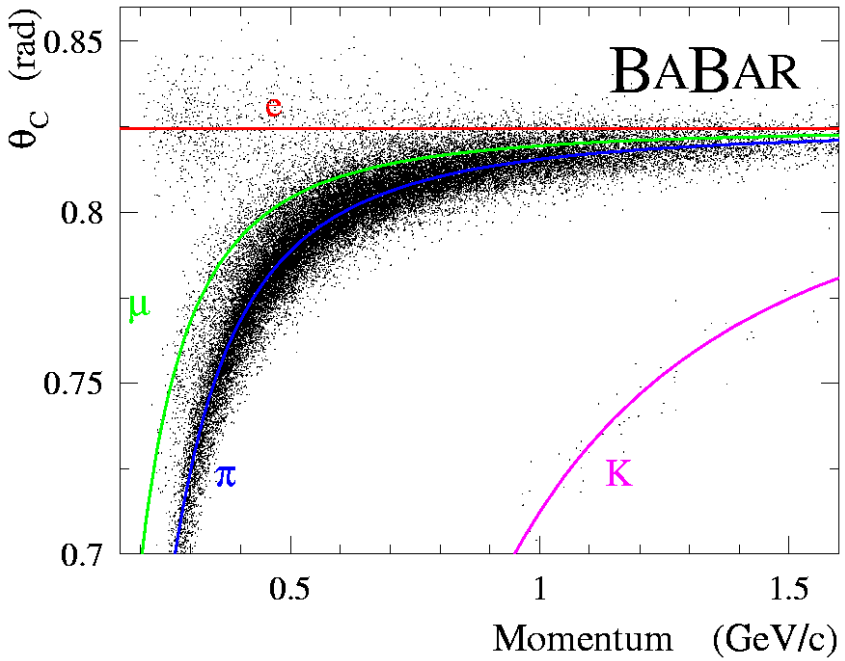


Tutti PMTs con segnale entro +-300ns dal trigger.

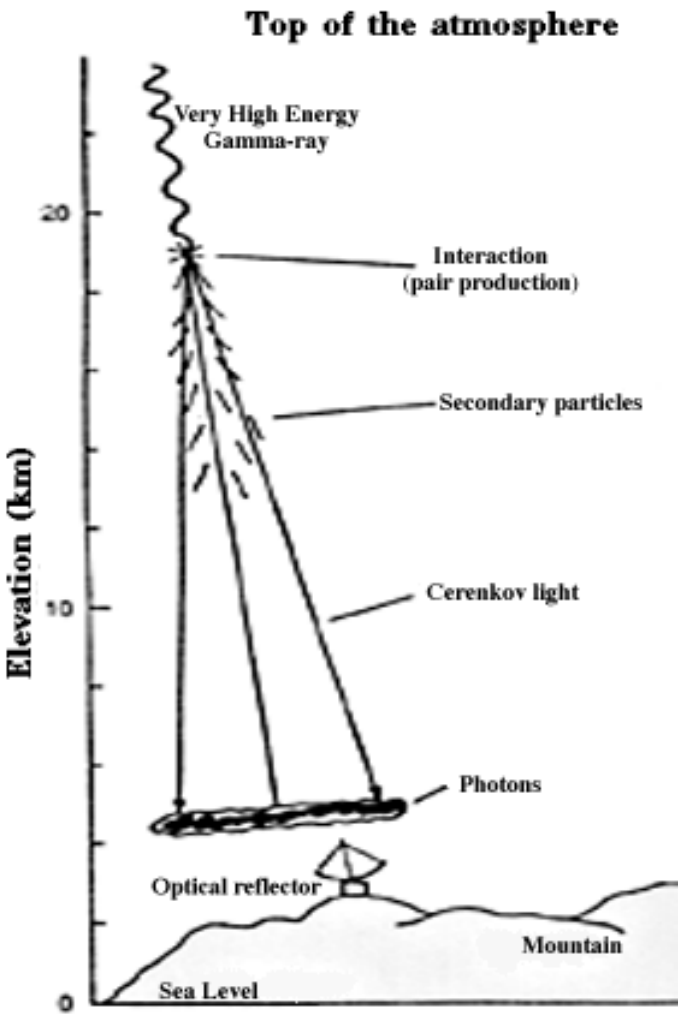
Solo PMTs con segnale entro +-8ns dal tempo di arrivo atteso per la luce Cherenkov.

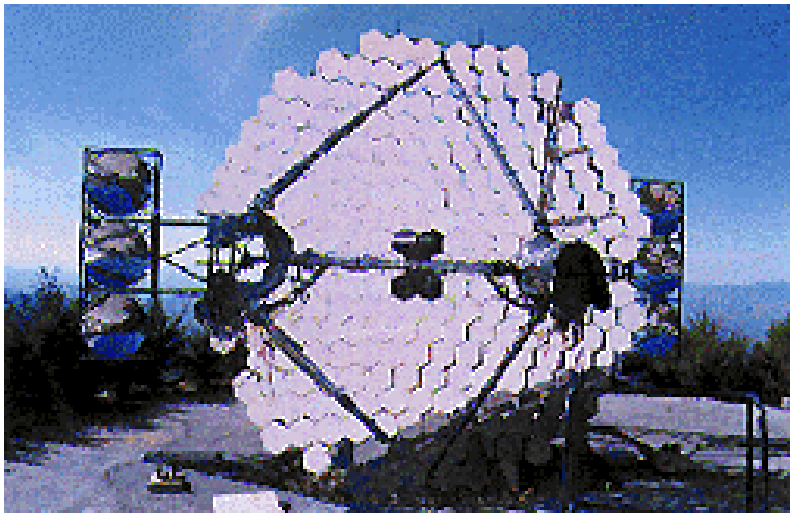
DIRC: BABAR


Data
Simulation
BABAR
60
40
20
0
-1
-0.5
0
0.5
1
$\langle N_\gamma \rangle$
$\cos(\theta_{track})$


BABAR
e
μ
π
K
0.85
0.8
0.75
0.7
0.5
1
1.5
θ_C (rad)
Momentum (GeV/c)

Air Cherenkov





Fotorivelatori

Necessita' di rivelare un basso numero di fotoni , con alta precisione spaziale e temporale, e predominanza lunghezza d'onda blu.

- fotomoltiplicatori
- multianodo
- contatori proporzionali con finestre di CsI, che costituiscono un piano catodico finemente segmentato
- HPD (Hybrid Photo Diode): matrice di diodi al silicio, in un involucro sotto vuoto, dove la finestra fotosensibile e' posta a ca. –10 kV rispetto al Si (problemi in campo magnetico)